

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**TEMA:
DESARROLLO Y AUTOMATIZACIÓN DE UN “CARGADOR DE
BATERÍAS” DE USO INDUSTRIAL PARA LA EMPRESA IMETRILEC.**

**AUTOR:
JHONATAN FRANCISCO VISCAINO TACURI**

**TUTOR:
VÍCTOR VINICIO TAPIA CALVOPÍÑA**

Quito, enero del 2019

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Jhonatan Francisco Viscaino Tacuri, con documento de identificación N° 1726517590, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación intitulado: “DESARROLLO Y AUTOMATIZACIÓN DE UN CARGADOR DE BATERÍAS DE USO INDUSTRIAL PARA LA EMPRESA IMETRILEC.”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Electrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



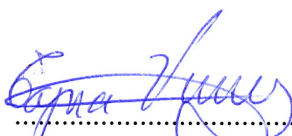
.....
Jhonatan Francisco Viscaino Tacuri
C.I: 1726517590

Quito, enero de 2019

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Proyecto Técnico, “DESARROLLO Y AUTOMATIZACIÓN DE UN CARGADOR DE BATERÍAS DE USO INDUSTRIAL PARA LA EMPRESA IMETRILEC”, realizado por Jhonatan Francisco Viscaino Tacuri, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, enero del 2019



.....
Victor Vinicio Tapia Calvopiña
C.I: 1708547219

DEDICATORIA

Todo esfuerzo tiene su recompensa por ello dedico este trabajo de titulación a Dios porque sin su consentimiento nada de esto pudo ser posible, y sobre todo a mi familia, a mis padres Wuillan y Clemencia quienes son los autores principales de lo que soy hoy en día, quienes con sus consejos nunca dejaron que decayera y me dieron la fuerza necesaria para siempre salir adelante ante cualquier adversidad durante los años de universidad, a todos(as) mis amigos(as) que siempre estuvieron ahí en los momentos más difíciles para siempre apoyarme y darme una mano y continuar con mi carrera.

Se los agradezco a todos(as) que confiaron en mí.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la prestigiosa Universidad Politécnica Salesiana por la formación académica adquirida, ya que no solo forman profesionales también forman el carácter humano de la persona un aspecto fundamental que la sociedad está perdiendo hoy en día valores, a cada ingeniero perteneciente a la carrera de Ingeniería Electrónica quienes supieron impartir sus conocimientos a través de un salón de clases para darnos a conocer los problemas que se pueden presentar en el mundo laboral.

A mi tutor el Ingeniero Vinicio Tapia, quien supo guiar de la mejor manera el proyecto para entregar un trabajo digno y sobresaliente.

ÍNDICE

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	ii
DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	xiv
CAPÍTULO 1	1
ANTECEDENTES.....	1
1.1 Planteamiento del Problema.....	1
1.2 Justificación.....	1
1.3 Objetivos	2
1.3.1 Objetivo general	2
1.3.2 Objetivos específicos	2
1.4 Grupo objetivo.....	2
1.5 Metodología	2
CAPÍTULO 2	4
MARCO TEÓRICO	4
2.1 La empresa	4
2.2 La batería.....	4
2.3 Tipos de baterías	5
2.3.1 Baterías Primarias.....	6
2.3.2 Baterías Secundarias	6
2.4 Batería de ácido-plomo	7
2.5 Terminología de las baterías	8
2.6 Carga de baterías	9

2.7	Tipos de cargadores	11
2.7.1	Regulación de la intensidad y de la tensión de carga	11
2.7.2	Corriente de carga.....	11
2.8	Equipo cargador de baterías	12
2.8.1	Cargador automático a voltaje constante y limitación de corriente.	12
2.8.2	Circuito de fuerza	12
2.8.3	Red de protección o red snubber	15
2.9	Microcontrolador	16
2.9.1	Microcontroladores PIC.....	17
2.9.2	Arduino	18
2.10	Interfaz gráfica de Labview	20
CAPÍTULO 3		21
DISEÑO DEL NUEVO SISTEMA		21
3.1	Descripción	21
3.2	Lazo de control de voltaje	22
3.3	Lazo de control de corriente.....	27
3.4	Convertidor voltaje/ángulo.....	29
3.5	Fuente de poder	31
3.6	Criterios de la caracterización	32
3.7	Diseño de Arduino más Labview	37
3.8	Diseño de tarjetas mediante el software CopperCAM.....	38
3.9	Descripción general del equipo	38
CAPÍTULO 4		40
IMPLEMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE RESULTADOS		40
4.1	Descripción	40
4.2	Protocolo de pruebas.....	41
4.2.1	Curva característica de voltaje	42

4.2.2	Forma de onda con una corriente máxima de 10 amperios y una corriente de 2 amperios	47
4.2.3	Formas de onda en los SCR	49
4.3	Pruebas de campo	50
4.4	Implementación de la interfaz virtual	53
CAPÍTULO 5	54
CONCLUSIONES	54
RECOMENDACIONES	56
LISTA DE REFERENCIAS	57
ANEXOS		

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Celda electroquímica.....	5
Figura 2.2. Curva característica de una batería recargable	6
Figura 2.3. Curvas de descarga de baja y alta tasa de velocidad	8
Figura 2.4. Curva característica según din 41 773.....	10
Figura 2.5. Rectificador de onda completa semi-controlado	12
Figura 2.6. Semiconvertidor monofásico de conmutación forzada	13
Figura 2.7. Formas de onda semiconvertidor monofásico	14
Figura 2.8. Red snubber	15
Figura 2.9. Sistema electrónico	16
Figura 2.10. Características principales de las familias pic	17
Figura 2.11. Placa de arduino uno	18
Figura 2.12. Placa de arduino mega.....	18
Figura 2.13. Interfaz virtual de labview	20
 Figura 3.1. Diagrama de bloques del cargador de baterías	 22
Figura 3.2. Voltaje V_d vs α	22
Figura 3.3. Comparador de voltaje	23
Figura 3.4. Referencia de tensión para el amplificador operacional (aop)	24
Figura 3.5. Amplificador operacional diferencial.....	25
Figura 3.6. V_{in} vs v_{out} modo integrador.	26
Figura 3.7. Lazo de control de corriente	28
Figura 3.8. Medición de la corriente de salida.	29
Figura 3.9. Convertidor voltaje/ángulo	30
Figura 3.10. Señal de rampa, del transistor npn	30
Figura 3.11. Disparo del scr y red snubber	31
Figura 3.12. Fuente de poder +12v	32
Figura 3.13. Flujograma del control de voltaje	33
Figura 3.14. Flujograma del circuito de medición de corriente	34
Figura 3.15. Flujograma principal del funcionamiento del cargador de baterías	36
Figura 3.16. Flujograma de arduino + labview	37
Figura 3.17. Gabinete del equipo pre armado	38

Figura 4.1. Sistema esquemático del nuevo sistema.....	40
Figura 4.2. Pcb final con el microcontrolador de arduino.....	41
Figura 4.3. Función de set point de voltaje.	45
Figura 4.4. Tabulación de datos de voltaje análogo vs digital	46
Figura 4.5. Función para la lectura de corriente	47
Figura 4.6. Tabulación de datos de corriente análogo vs digital	49
Figura 4.7. Diagrama de bloques de labview	53
Figura 4.8. Panel frontal de labview	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Placas de arduino.....	19
Tabla 3.1. Tabla de características del control pi de voltaje.	32
Tabla 3.2. Tabla de características del circuito de medición de corriente.	34
Tabla 3.3. Tabla de características del circuito de control de corriente.	35
Tabla 4.1. Sistema análogo vs sistema digital.	43
Tabla 4.2. Sistema análogo vs sistema digital con el voltaje de flotación.	44
Tabla 4.3. Tabla de valores de voltaje análogo vs digital.	46
Tabla 4.4. Formas de onda de corriente con 2 amperios y 10 amperios.	48
Tabla 4.5. Tabla de valores de corriente, análogo vs digital.	49
Tabla 4.6. Formas de onda ánodo - cátodo con 2 amperios y 10 amperios.	50
Tabla 4.7. Tiempo de carga, voltaje y corriente sistema análogo.	51
Tabla 4.8. Tiempo de carga, voltaje y corriente sistema digital.	52

RESUMEN

En la actualidad, en el sector de la industria de fabricación de equipos eléctricos – electrónicos, Ecuador no innova los equipos que fabrica los adquieren de otros países, la empresa Imetrilec se dedica a la fabricación de equipos eléctricos – electrónicos como lo son cargadores de baterías de uso industrial, reguladores de voltaje monofásicos, bifásicos y trifásicos, inversores entre otros.

En general el cargador de baterías, y los demás equipos poseen una electrónica análoga lo que los vuelve obsoletos a mejoras. El cargador de baterías es uno de sus principales productos de fabricación por lo que muchos de sus clientes exigen que su funcionamiento sea mediante un microcontrolador, en el presente proyecto se implementa el funcionamiento del equipo mediante un microcontrolador y el diseño de una interfaz virtual para visualización de datos, las ventajas de modernizar el cargador de baterías es dar apertura a nuevas características de funcionamiento entre ellas, la interfaz virtual, control mediante software, y como futura innovación del mismo realizar el funcionamiento del equipo mediante protocolos de comunicación a nivel industrial.

Palabras claves: microcontrolador, interfaz virtual, CNC, proteus, PCBs.

ABSTRACT

Nowadays, the manufacturing industry of electrical equipment - electronic, Ecuador does not innovate the equipment that manufactures, because it is acquired from other countries. The company Imetrilec is dedicated to the manufacture of electrical equipment - electronic batteries such as battery chargers for industrial use, single-phase, two-phase and three-phase voltage regulators, inverters, among others.

In general, the battery charger and other equipment have an electronically analog that makes obsolete improvements. The battery charger is one of its main manufacturing products so many of its customers demand that its operation is through a microcontroller. In this project, it is implemented the operation of the equipment through a microcontroller and the design of a virtual interface for data visualization, the advantages of modernizing the battery charger is to open new operating characteristics among them: the virtual interface, control through software, and as a future innovation of the same perform the operation of the equipment through industrial communication protocols.

Keywords: microcontroller, virtual interface, CNC, proteus, PCBs.

INTRODUCCIÓN

Existen muchas empresas alrededor del mundo que se dedican a la fabricación de cargadores de baterías y durante sus más de 20 años de funcionamiento, la empresa no ha realizado innovaciones en sus equipos por lo que muchos de sus clientes exigen mejoras tecnológicas para su adquisición, por lo que se necesita automatizar lo cual se puede conseguir mediante el uso de microcontroladores.

En el primer capítulo se describe el problema a resolver el cual es la automatización del equipo, el objetivo general y los específicos, y la metodología para el desarrollo del proyecto. En el segundo capítulo se describe el marco teórico, perteneciente a los diferentes cargadores de baterías existentes, curvas características circuitos de fuerza y control, y además introducción a los microcontroladores.

En el tercer capítulo se realiza la caracterización total del equipo, desglosando el funcionamiento de cada bloque, y posterior para implementarlos en el microcontrolador de Arduino Uno, además se muestra la interfaz virtual que se realizó mediante la plataforma de Labview.

En el cuarto capítulo se describe la implementación tanto de software y hardware del nuevo sistema para el equipo cargador de baterías, además se analiza formas de onda del sistema análogo vs el nuevo. Y los protocolos de pruebas correspondientes al sistema análogo antiguo vs el nuevo sistema controlado por microcontrolador.

En el quinto capítulo se describe las conclusiones y recomendaciones del proyecto.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

1.1 Planteamiento del Problema

Los equipos pertenecientes a la empresa Imetrilec poseen sistemas analógicos, uno de ellos es el equipo cargador de baterías y al poseer este tipo de sistema lo hace obsoleto tanto en software y hardware.

El equipo cargador de baterías puede poseer alrededor de 3 a 4 tarjetas una de ellas para el sistema de control, al poseer una electrónica cerrada impide la implementación de mayores características de funcionamiento entre las principales es la visualización virtual de las características del equipo, voltaje y corriente suministradas por el mismo además otra solicitud de los clientes, es que el equipo funcione mediante un microcontrolador lo cual da mayor apertura a nuevos diseños de software por ello para los requerimientos deseados, los componentes dentro de la tarjeta son muy difíciles de controlar para que el procesamiento de la señal sea preciso, el sistema digital nos permite un mejor control de la precisión, además de dar apertura a nuevas tecnologías como es la interfaz virtual para la visualización de resultados o distintos protocolos de comunicación para mantenimiento y supervisión.

1.2 Justificación

La principal función de la empresa es la fabricación y comercialización de equipos eléctricos y electrónicos, por lo que requiere una innovación en su equipo, ya que desde su fundación en 1998 su equipo no ha tenido mejoras técnicas.

Con la automatización del equipo cargador de baterías la empresa busca brindar un equipo de mejor tecnología acorde al mercado y así se obtiene varios beneficios, un sistema reprogramable, es decir, que es muy factible realizar cambios de configuración de software lo que hace muy operativo para los distintos equipos referentes a los cargadores de baterías. Además, la reproducibilidad de resultados viene a ser la misma, es decir se obtendrá los mismos resultados que el sistema análogo usado actualmente por ultimo da apertura a mayores características de funcionamiento.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Desarrollar un sistema digital con una interfaz virtual utilizando un microcontrolador, para el control del equipo “cargador de baterías” de uso industrial en la empresa Imetrilec.

1.3.2 Objetivos específicos

- Caracterizar el funcionamiento del equipo cargador de baterías y de esta forma obtener sus variables de control, para conocer su funcionamiento dentro del proceso.
- Diseñar un nuevo sistema para el equipo, utilizando las variables de control encontradas dirigidas a establecer mejoras en el software.
- Implementar los nuevos diseños para el equipo cargador de baterías.
- Realizar una interfaz virtual con el microcontrolador para observar su funcionalidad en el sistema implementado.
- Validar el nuevo sistema creado mediante pruebas de campo en distintos equipos, para la definición de mejoras si requiere el sistema.

1.4 Grupo objetivo

El beneficiario directo es la empresa Imetrilec, ya que los equipos adquiridos poseerían nuevas características, pero con un funcionamiento más eficiente y dando los mismos resultados. Y beneficiarios secundarios los clientes de la empresa ya que tendrán nuevas mejoras en los equipos adquiridos.

1.5 Metodología

Mediante la investigación de campo se realizará la caracterización de la máquina y así observar las variables físicas del sistema a utilizar, con estas variables se realizará el diseño utilizando electrónica digital para automatizar el sistema, utilizando el método teórico y práctico.

Con el nuevo diseño realizado se procede a la implementación utilizando un método práctico y descriptivo y la validación de los resultados obtenidos, se realizará mediante el método de experimentación y análisis.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

En este capítulo se detalla la historia de la empresa y sus principales servicios que ofrecen en el mercado en específico el equipo llamado “cargador de baterías”, su funcionamiento y sus principales características de funcionamiento actuales.

2.1 La empresa

IMETRILEC Cía. Ltda. es una empresa de ingeniería y mercadeo de equipos eléctricos y electrónicos, jurídica y legalmente constituida en el Ecuador, tiene como actividad principal la fabricación, diseño, instalación y mercadeo de equipos eléctricos, electrónicos, mecánicas además de mantenimiento e instalación de redes eléctricas de baja y media tensión.

La empresa se localiza en la provincia de Pichincha, Quito. Su fecha de fundación es el 26 de noviembre de 1998. Posee más de 20 años en el mercado ecuatoriano, brindando soporte y respaldo técnico a la industria. Durante los últimos años muchas empresas han optado por digitalizar sus equipos con la transición analógica a digital. La empresa actualmente se ha mantenido con la fabricación de equipos electrónicos entre sus principales es el cargador de baterías de Voltaje de Corriente Continua (Vdc), con funcionalidad analógica, es decir su electrónica actual es cerrada lo que impide mejorar características de funcionamiento del sistema. Actualmente la electrónica analógica que posee el equipo no es suficiente para satisfacer mayores características requeridas por sus clientes, como lo es, su modo de operación mediante microcontrolador, y una interfaz virtual si fuese el caso, por lo que se necesita mejorar su tecnología, dando apertura a que el equipo tenga mejoras continuas. Por lo tanto, la necesidad de automatizar ayuda a la empresa a entrar en la competitividad de este producto dentro del mercado ecuatoriano.

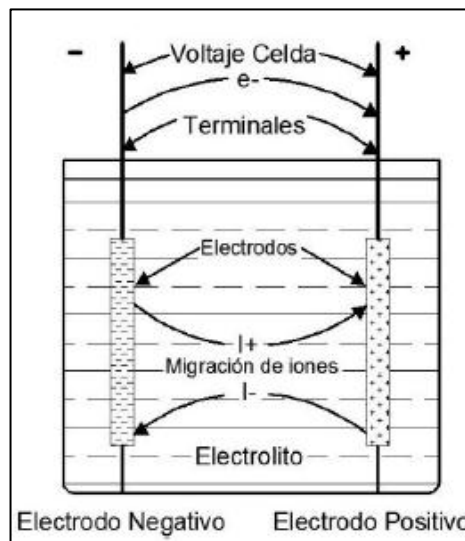
2.2 La batería

Una batería es un dispositivo de almacenamiento electroquímico que convierte energía química en energía eléctrica o viceversa, a través de una reacción química. Esto se da dentro de un elemento básico denominado celda que consta de dos electrodos sumergidos en un electrolito. Una batería está conformada por una sola celda o múltiples de ellas conectadas en serie o paralelo de acuerdo a los requerimientos de

tensión y capacidad. Cada celda de la batería consta de los siguientes elementos, que gráficamente se muestran en la Figura 2.1 (Linden & Reddy, 2001):

- El electrodo negativo, el cual libera electrones.
- El electrodo positivo, el cual acepta los electrones.
- El electrolito, el cual provee el medio para transferir los electrones entre el ánodo y el cátodo.
- Los separadores para garantizar un aislamiento entre los dos electrodos.

Figura 2.1. Celda Electroquímica



Partes de la celda electroquímica. Fuente: (Kiehne, 2003)

2.3 Tipos de baterías

En el presente, las empresas optan por usar un banco de baterías conectadas entre sí, sea en conexión serie o paralelo según lo requieran, lo que refleja su funcionalidad de usarlos como fuente de energía eléctrica en caso de que la fuente primaria falle. Los distintos usos de las baterías se pueden clasificar de acuerdo a su nivel de energía y su potencia que desarrolle cada uno de ellas.

- De poca energía y alta potencia: Se refiere a un banco de baterías conectadas en paralelo, para sumar sus intensidades y obtener una mayor potencia.

- De alta energía y moderada potencia: Es un banco de baterías conectadas en serie, es la manera más frecuente de conectar las baterías, ya que se suma sus voltajes obteniendo mayor energía y se mantiene la corriente.
- De energía alta y alta potencia: Este tipo es una combinación de un banco de baterías conectadas en serie y paralelo.

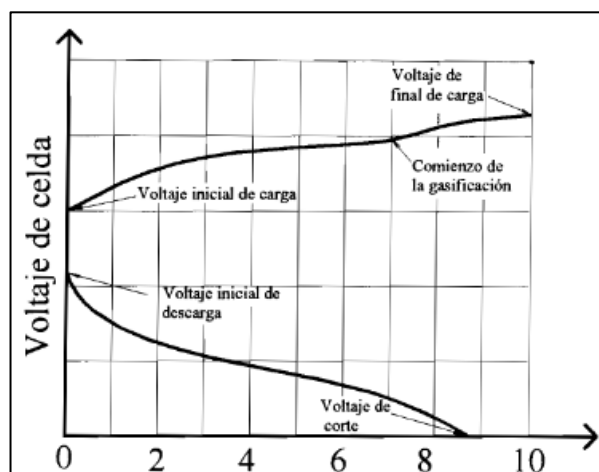
2.3.1 Baterías Primarias

Son aquellas baterías que después que se agotan se desechan, debido a que sus componentes químicos internos agotan sus componentes, por ello no pueden reproducir más energía, este tipo de baterías se las conoce como pilas. Generalmente su tamaño es pequeño, y su uso se limita a instrumentos y herramientas portátiles, linternas, telefonía, electrónica de consumo, etc.

2.3.2 Baterías Secundarias

Las baterías secundarias o también llamadas recargables, son aquellas que después de cada descarga de los elementos químicos que poseen pueden ser regenerados, mediante la circulación de corriente continua a través de ellas. (Guacaneme, Velasco, & Trujillo, 2014)

Figura 2.2. Curva característica de una batería recargable



Curvas características de carga y descarga de una batería recargable. Fuente: (Egas, 2002)

Nuestro enfoque va dirigido hacia las baterías secundarias y las baterías de ácido-plomo que son recargables, que son las de mayor aplicación en equipos de energía interrumpible (UPS). En la Figura 2.2 se muestra las curvas de carga y descarga de una batería recargable.

2.4 Batería de ácido-plomo

La batería de plomo-ácido es la más utilizada en la industria con ligeras desventajas una de ellas la capacidad de carga-descarga aproximadamente de 600 a 800 ciclos, la contaminación debida al electrolito, y la densidad de energía que se traduce en peso y tamaño por lo que no son recomendables para sistemas que requieran movilidad o portabilidad. (Guacaneme, Velasco, & Trujillo, 2014)

Entre sus principales características encontramos:

- Eficiencia de carga/descarga= 50% y 95% respectivamente.
- Voltaje de celda nominal= 2.15 voltios.
- Voltaje de descarga nominal de celda= 1.94 voltios.
- Voltaje de flotación por celda= 2.25 a 2.30 voltios.
- Durabilidad (ciclos)= 600-800 ciclos.

El voltaje de flotación es el parámetro de carga para la batería, una batería comúnmente está constituida por 6 celdas, por ello, el voltaje de flotación por celda es de 2.25 voltios (V) y 2.30 V para un batería es de 13.5 V y 13.8 V respectivamente.

Este parámetro depende de la zona de carga, ya que las temperaturas en las diferentes regiones del país afectan carga/descarga de la batería, es decir, para la región sierra se aplica un voltaje de flotación de 13.8 V y para las otras regiones el factor de 13.5 V.

2.5 Terminología de las baterías

- **Capacidad:** Es la carga eléctrica de una batería se expresa en amperios-hora (Ah), cuando la batería se descarga con una corriente constante su capacidad se da por la siguiente relación.

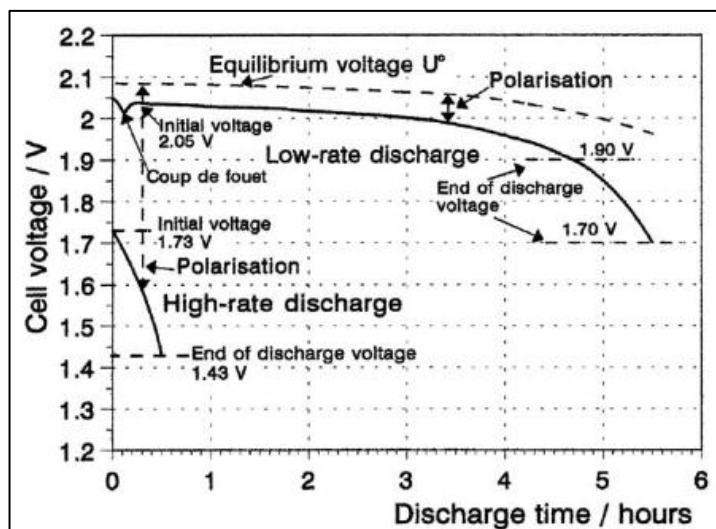
$$C_{Ah} = I \cdot \Delta t / Ah \quad \text{Ec. (2.1)}$$

De forma más general.

$$C_{Ah} = \int_0^t I(t) \cdot dt / Ah \quad \text{Ec. (2.2)}$$

Otros parámetros de descarga que influyen principalmente en la capacidad son: corriente de descarga, límite de voltaje o fin de descarga y la temperatura.

Figura 2.3. Curvas de descarga de baja y alta tasa de velocidad



Curvas de descarga de baja tasa de velocidad (curva superior) y alta velocidad (curva inferior).
Fuente: (Kiehne, 2003)

- **Celda:** El elemento básico de la batería es la celda correspondiente a la Figura 2.1 la batería está constituida por varias celdas conectadas en serie o paralelo, la celda es capaz de convertir la energía química en eléctrica, consiste en dos

electrodos sumergidos en un electrolito común, uno recibe los electrones de la reacción química y el otro los libera.

- **Carga:** Es el proceso mediante el cual se proporciona energía eléctrica a una celda con el propósito de convertirla en energía química y ser almacenada.
- **Carga de flotación:** Método para mantener una batería recargable en carga completa mediante el mantenimiento continuo de un voltaje constante sobre la batería, de magnitud tal que la corriente de carga compense exactamente las diversas pérdidas que se producen.
- **Resistencia interna:** La resistencia interna caracteriza la capacidad de la batería para manejar una determinada carga. Determina la potencia de salida de la batería
- **Voltaje nominal:** Es el voltaje de una celda completamente cargada. Por lo general en carga completa el voltaje por celda es aproximadamente de 2.1 V como se muestra en la Figura 2.3.
- **Carga lenta:** Es el método en el que se utiliza una corriente constante para llevar una batería a la carga completa y a continuación mantenerla en una condición de carga plena. Difiere de la carga de flotación en que esta última suele ser un proceso de voltaje constante. (Kiehne, 2003)

2.6 Carga de baterías

Por lo general son dos los tipos de descarga, de forma directa cuando se coloca una carga en las bornas de la batería, y externo cuando existe una auto-descarga significa pérdida gradual de carga en el electrodo positivo y / o negativo, cuando la batería está inactiva en circuito abierto. Una razón puede ser la reducción gradual del estado de oxidación en el electrodo positivo.

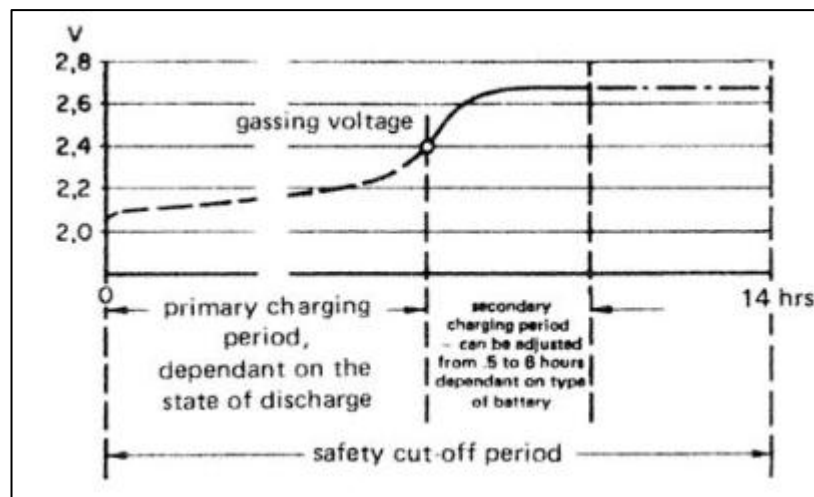
Las demandas de técnicas de carga y sistemas de monitoreo incluyen:

- Elección de un método de carga de preservación.
- Control del proceso de carga con respecto a la condición de la batería.

- Indicación de la capacidad real.
- Limitaciones actuales.
- Control de voltaje de la batería y carga.

Los dispositivos de carga deberían tener una curva característica según DIN 41 773 y estar equipados con un interruptor de control de carga que limite el período de carga, como se muestra en la Figura 2.4 después de que se haya alcanzado el voltaje de flotación de 2.4 V / celda. (Kiehne, 2003)

Figura 2.4. Curva característica según DIN 41 773



Curva de carga de voltaje nominal 2.1 aproximadamente. Fuente: (Kiehne, 2003)

El suministro de carga a una batería se dará cuando se aplique corriente continua mayor que la nominal de la batería. Al aplicar una corriente eléctrica, el tiempo de carga de la batería aumenta la tensión de carga hasta que alcanza el valor de saturación para las baterías de ácido-plomo es de 2.4 V (Figura 2.4).

Es importante que la tensión de carga no esté expuesta durante mucho tiempo superior al voltaje de saturación 2.4 V, ya que se produce una descomposición química del agua dentro de la batería lo que produce la oxidación de las bornas de la batería.

2.7 Tipos de cargadores

Por lo general son aparatos casi siempre sin regulación, pero todos constan con un convertidor de Corriente alterna a Corriente continua (AC/DC), pero para baterías sin mantenimiento estos aparatos solo son apropiados condicionalmente, por la falta de limitación de la tensión de carga.

2.7.1 Regulación de la intensidad y de la tensión de carga

En los cargadores regulados (por ejemplo, según la curva característica DIN 41 773), los valores reales momentáneos de la intensidad de carga se envían a un regulador que los compara con los nominales específicos de la batería, donde se regula con un elemento de ajuste que elimina las diferencias entre nominales y momentáneos.

En los cargadores regulados se ajustan las variaciones de la intensidad de carga, que de lo contrario serían frecuentes por las variaciones de la tensión de la red y otras. Esto redundaría en beneficio de una vida más larga de la batería e influye también positivamente en los intervalos de mantenimiento. (BOSCH, 2002)

2.7.2 Corriente de carga

En condiciones normales se carga la batería con una intensidad de corriente que es aproximadamente el 10% del valor numérico de su capacidad amperio-hora (Ah), este valor es un estándar que viene manejando la empresa durante sus años de funcionamiento.

Mediante cargas rápidas, las baterías descargadas pueden cargarse hasta aproximadamente el 80% de su capacidad nominal sin resultar dañadas. Al llegar a la tensión a que se desprenden gases, la corriente de carga debe desconectarse o pasar por un valor más bajo. La desconexión o reducción se realiza por medio de un limitador regulable del tiempo de carga o por un automatismo de desconexión. Aplicando conexiones electrónicas de supervisión especiales pueden determinarse también el estado en plena carga junto con el tiempo de carga (con la sobrecarga empieza a bajar de nuevo la tensión de la batería). (BOSCH, 2002)

2.8 Equipo cargador de baterías

El suministro de carga hacia una batería se produce siempre y cuando se le aplique una corriente continua mayor que el suyo. La capacidad de carga de la batería se define en amperios-hora, por ejemplo, si una batería tiene una capacidad de 200 Ah esta puede entregar teóricamente una corriente continua de 20 Amperios (A) durante 10 horas, o dependiendo la carga puede entregar 1 A durante 200 horas.

2.8.1 Cargador automático a voltaje constante y limitación de corriente.

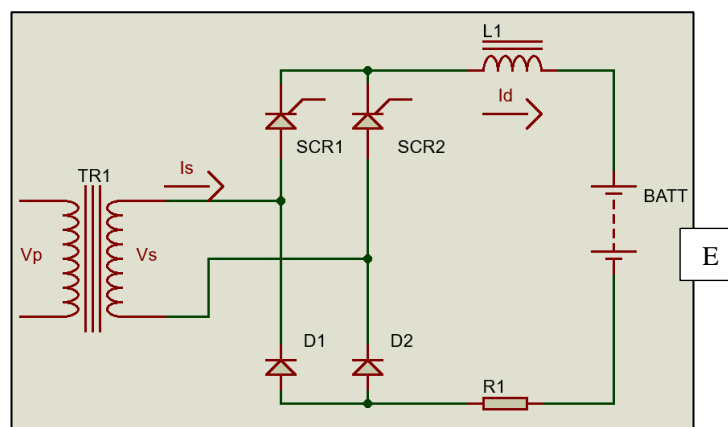
Este tipo de cargador incluye un circuito electrónico el cual nos permite regular y limitar la corriente máxima de carga que puede entregar la batería. Para lograr la limitación de la corriente, en la topología del equipo se debe incorporar un medidor de corriente de carga y mediante esta medición el equipo controla el ángulo de disparo de los semiconductores de potencia (SCR).

Este tipo de cargador tiene mejores características de funcionamiento, al limitar la corriente alarga la vida útil de las baterías, de esta manera no se exponen a corrientes mayores de las nominales. Este tipo de cargador consiste en un rectificador monofásico semicontrolado y una inductancia.

2.8.2 Circuito de fuerza

Una de las formas de controlar la salida de un rectificador de media onda es utilizar un SCR en lugar del diodo, en la Figura 2.5 se representa el rectificador de onda completa controlado.

Figura 2.5. Rectificador de onda completa semi-controlado



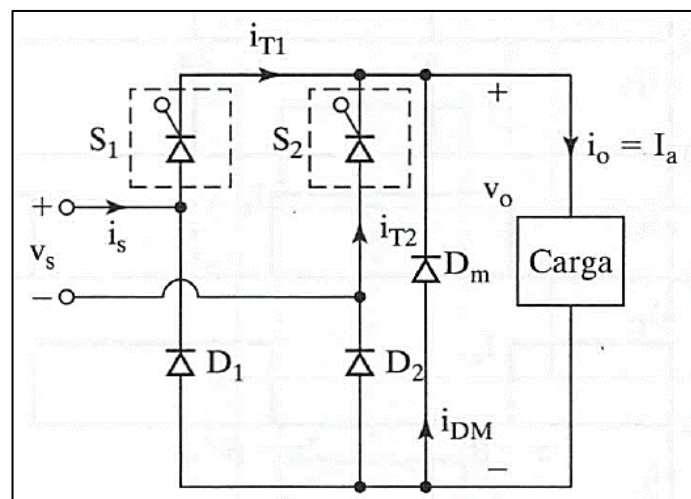
Rectificador monofásico semi-controlado. Elaborado por: Jhonatan Viscaino.

Para que un SCR entre en conducción debe cumplir dos parámetros (Rashid, 2015):

1. El SCR debe estar polarizado de manera directa ($V_{SCR} > 0$).
2. Debe existir una corriente al gate del SCR.

En la Figura 2.5 se observa que se utiliza dos SCR, los cuales tienen conectado el ánodo a su encapsulado metálico exterior, por lo cual ayuda con su montaje en los disipadores con los diodos rectificadores de cátodo común, de igual forma el cátodo está conectado al encapsulado metálico, lo cual permite conectarlos en un solo disipador tanto el SCR como el diodo. Este tipo de circuito, se asemeja a un control por ángulo de extinción este tipo de control realiza conmutaciones forzadas además se puede mejorar el factor de potencia (Fp) de entrada y reducir los niveles de armónicos.

Figura 2.6. Semiconvertidor monofásico de conmutación forzada



Semiconvertidor monofásico con dos interruptores S1 y S2. Fuente: (Rashid, 2015)

En la Figura 2.6 se muestra un semiconvertidor monofásico con dos interruptores S1 y S2, en un control por ángulo de extinción, el interruptor S1 se abre cuando $\omega t = 0$, y se cierra por conmutación forzada cuando $\omega t = \pi - \beta$. El interruptor S2 se abre cuando $\omega t = \pi$ y se cierra cuando $\omega t = 2\pi - \beta$. El voltaje de salida se controla haciendo variar el ángulo de extinción β .

La Figura 2.7 muestra las formas de onda del voltaje de entrada, voltaje de salida, corriente de entrada y corriente por los interruptores. (Rashid, 2015)

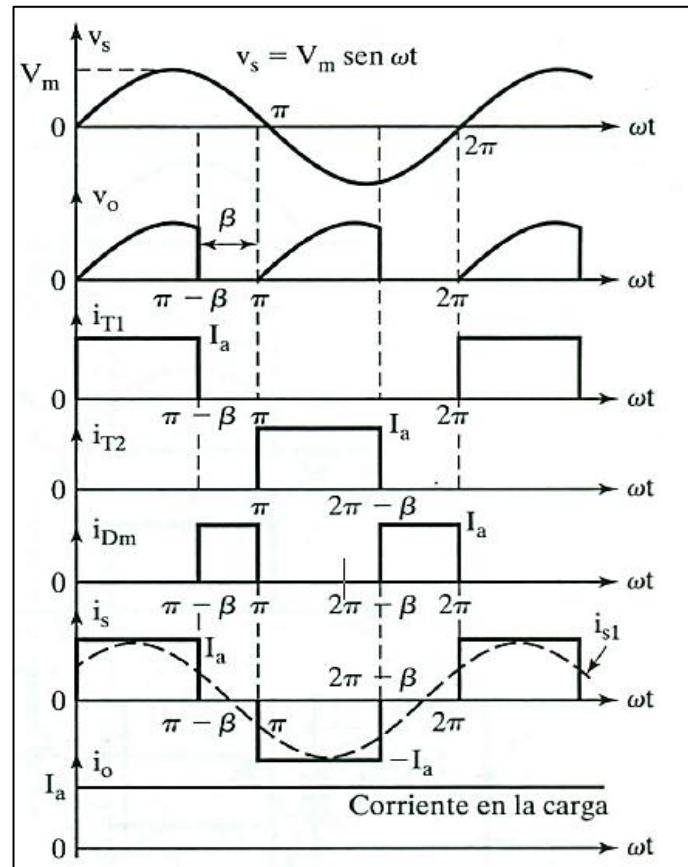
El voltaje promedio de la salida, se da por la siguiente formula:

$$V_{cd} = \frac{2}{2\pi} \int_0^{\pi-\beta} V_m \sin \omega t d(\omega t) = \frac{V_m}{\pi} (1 + \cos \beta) \quad \text{Ec. (2.3)}$$

El voltaje V_{cd} se puede variar desde $2V_m/\pi$ hasta 0, variando β desde 0 hasta π . El voltaje rms de la salida viene dado por:

$$V_{rms} = \left[\frac{2}{2\pi} \int_0^{\pi-\beta} V_m^2 \sin^2 \omega t d(\omega t) \right]^{1/2} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \left[\frac{1}{\pi} (\pi - \beta + \frac{\sin 2\beta}{2}) \right]^{1/2} \quad \text{Ec. (2.4)}$$

Figura 2.7. Formas de onda Semiconvertidor monofásico



Formas de onda, V_{in} , V_{out} , i_{T1} , i_{T2} , I_s , I_{out} . Fuente: (Rashid, 2015)

Tomando en cuenta que la carga es un banco de baterías se tiene la siguiente formula:

$$E = \frac{\sqrt{2} V_s}{\pi} (1 + \cos \beta) \quad \text{Ec. (2.5)}$$

De la misma ecuación 2.5 se puede despejar V_s , por lo cual se obtiene la siguiente formula:

$$V_s = \frac{\pi * E}{\sqrt{2}} * \frac{1}{(1 + \cos\beta)} \quad \text{Ec. (2.6)}$$

Otro punto importante en el circuito de fuerza es la inductancia, para encontrar la corriente se integra I_l desde β hasta $\pi + \beta$.

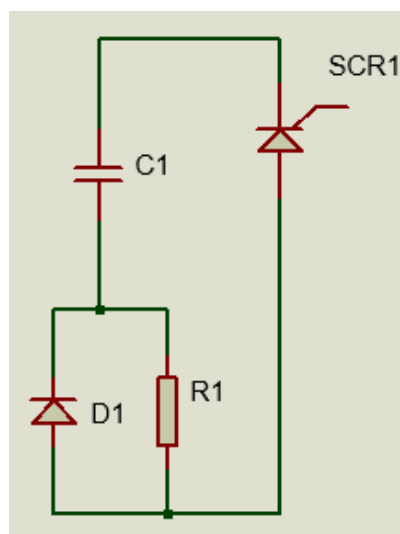
$$I_l = \frac{1}{\pi} \int_{\beta}^{\pi + \beta} i_L(t) d\omega t \quad \text{Ec. (2.7)}$$

$$I_l = \frac{\sqrt{2} * V_s}{\omega L} \left[\frac{1}{2} \cos\beta + \frac{1}{\pi} \sin\beta + \frac{\beta}{\pi} - 1/2 \right] \quad \text{Ec. (2.8)}$$

2.8.3 Red de protección o red snubber

Una red snubber puede absorber la energía de los elementos reactivos del circuito (inductores y capacitores). Los beneficios son amortiguación del circuito, control de las tasas de cambio de voltaje (dv/dt) o corriente (di/dt), y la más importante protección de sobretensiones. Una red snubber limita o reduce el total de pérdidas de conmutación del circuito, cuando una red snubber está bien diseñada el dispositivo interruptor tiene menor disipación de potencia promedio y una disipación de potencia máxima mucho menor.

Figura 2.8. Red snubber



SCR asociada a una red snubber. Elaborado por: Jhonatan Viscaino.

Una red snubber como se muestra en la Figura 2.8, está compuesta básicamente por un circuito serie R-C, donde la resistencia está conectada en paralelo a un semiconductor, en el mismo sentido del SCR.

2.9 Microcontrolador

El microcontrolador puede ser un circuito integrado o un chip, con distintas características de funcionamiento una de ellas es el ser reprogramable. (Torrente Artero, 2013)

Figura 2.9. Sistema electrónico

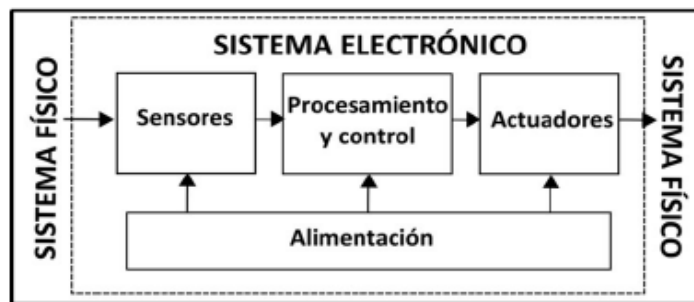


Diagrama de bloques de un sistema electrónico. Fuente: (Torrente Artero, 2013)

En la Figura 2.9 se observa el diagrama de un sistema electrónico de forma general, donde el microcontrolador es el componente principal del circuito de procesamiento y control. El seudónimo más usado para nombrar a los microcontroladores es “micro”, o su nomenclatura “ μ C”, el microcontrolador está compuesto además de tres elementos:

- **CPU (Unidad central de proceso):** es la parte encargada de ejecutar cada instrucción y de controlar que dicha ejecución se realice correctamente.
- **Tipos de memoria:** Existen dos tipos de memoria las “persistentes”, las cuales a pesar de que exista cortes en la alimentación su contenido sigue almacenado, y las “volátiles”, las cuales se pierde toda información a falta de alimentación.
- **Patillas de E/S (entrada/salida):** Son las entradas o salidas del microcontrolador, mediante estas se puede conectar sensores para la

adquisición de datos esto a manera de entrada, y a manera de salidas se puede conectar los distintos actuadores que controle el microcontrolador.

Es decir, un microcontrolador es un computador completo (aunque con prestaciones limitadas) en un solo chip. (Torrente Artero, 2013)

2.9.1 Microcontroladores PIC

Microchip es una de las principales industrias de fabricación de microcontroladores, en la Figura 2.10 se muestra algunas de las familias pertenecientes a PIC.

Figura 2.10. Características principales de las familias PIC

Familia	ROM [Kbytes]	RAM [bytes]	Pines	Frecuencia de reloj. [MHz]	Entradas A/D	Resolución del convertidor A/D	Comparadores	Temporizadores de 8/16 bits
Arquitectura de la gama baja de 8 bits, palabra de instrucción de 12 bits								
PIC10FXXX	0.375 - 0.75	16 - 24	6 - 8	4 - 8	0 - 2	8	0 - 1	1 × 8
PIC12FXXX	0.75 - 1.5	25 - 38	8	4 - 8	0 - 3	8	0 - 1	1 × 8
PIC16FXXX	0.75 - 3	25 - 134	14 - 44	20	0 - 3	8	0 - 2	1 × 8
PIC16HVXXX	1.5	25	18 - 20	20	-	-	-	1 × 8
Arquitectura de la gama media de 8 bits, palabra de instrucción de 14 bits								
PIC12FXXX	1.75 - 3.5	64 - 128	8	20	0 - 4	10	1	1 - 2 × 8 1 × 16
PIC12HVXXX	1.75	64	8	20	0 - 4	10	1	1 - 2 × 8 1 × 16
PIC16FXXX	1.75 - 14	64 - 368	14 - 64	20	0 - 13	8 or 10	0 - 2	1 - 2 × 8 1 × 16
PIC16HVXXX	1.75 - 3.5	64 - 128	14 - 20	20	0 - 12	10	2	2 × 8 1 × 16
Arquitectura de la gama alta de 8 bits, palabra de instrucción de 16 bits								
PIC18FXXX	4 - 128	256 - 3936	18 - 80	32 - 48	4 - 16	10 or 12	0 - 3	0 - 2 × 8 2 - 3 × 16
PIC18FXXJXX	8 - 128	1024 - 3936	28 - 100	40 - 48	10 - 16	10	2	0 - 2 × 8 2 - 3 × 16

Características generales de las familias 12F, 16F, 18F, 24F, 30F, y 33F. Fuente: (Verle, 2011)

El microcontrolador 16F877 consta de 40 pines y módulos como: Timer, ADC, USART, I2C, PWM, por lo cual en medida de la extensión de nuestro proyecto se debe elegir de manera correcta el dispositivo a usar (Clavijo Mendoza, 2011). La gama perteneciente a la familia PIC, es más amplia que Arduino en la Figura 2.12 muestra las distintas características, como lo son memoria ROM y RAM, entradas análogas y digitales entre otras.

La comunicación que posee los PIC, es muy variada y muy compleja dependiendo del PIC, a partir de la familia 16FXXX en adelante posee comunicación USART, I2C, SPI, mientras que todas las familias anteriores a esta no poseen ningún tipo de comunicación lo que los hace obsoletos. Se necesita programar eléctricamente el microcontrolador, con un programador específico para los PICMicro.

2.9.2 Arduino

El microcontrolador de Arduino es una placa de hardware libre, el cual es reprogramable. (Torrente Artero, 2013)

Figura 2.11. Placa de Arduino UNO



Placa de Arduino Uno, entradas y salidas. Elaborado por: Jhonatan Viscaino.

Sin embargo, la placa Arduino posee diferentes modelos, los cuales cambian sus características como tamaño físico, número de entradas y salidas, el modelo de microcontrolador incorporado, memoria utilizable, etc. En la Figura 2.10 se muestra el Arduino Uno, mientras que en la Tabla 2.1 muestra las distintas características del mismo. En la Figura 2.11 se muestra el Arduino Mega 2560, de igual manera las características de esta placa se muestran en la Tabla 2.1.

Figura 2.12. Placa de Arduino Mega



Placa de Arduino Mega, entradas y salidas. Elaborado por: Jhonatan Viscaino.

En la Tabla 2.1 se muestra las distintas características de las diferentes placas de Arduino existentes en el mercado. Como lo son voltajes de entrada, el modelo del microcontrolador, entradas y salidas, memoria flash, etc. Cabe decir que todas las placas pertenecen a la misma familia tecnológica, en concreto son AVR.

Tabla 2.1. Placas de Arduino

Modelo	Micro- controlador	V.in	Frecuencia	Digital I/O	Entradas analógicas	Memori a Flash	Interfaz de programación
Arduino Leonardo	ATmega32 U4	7-12V	16 MHz	20	12	32kb	Nativa USB
Arduino Uno-R3	ATmega328	7-12V	16 MHz	14	6	32kb	USB vía ATmega16U2
Arduino Mini 05	ATmega328	7-9V	16 MHz	14	6	32kb	Cabecera serial
Arduino Mega 2560	ATmega256 0	7-12V	16 MHz	54	16	256kb	USB vía ATmega16U2

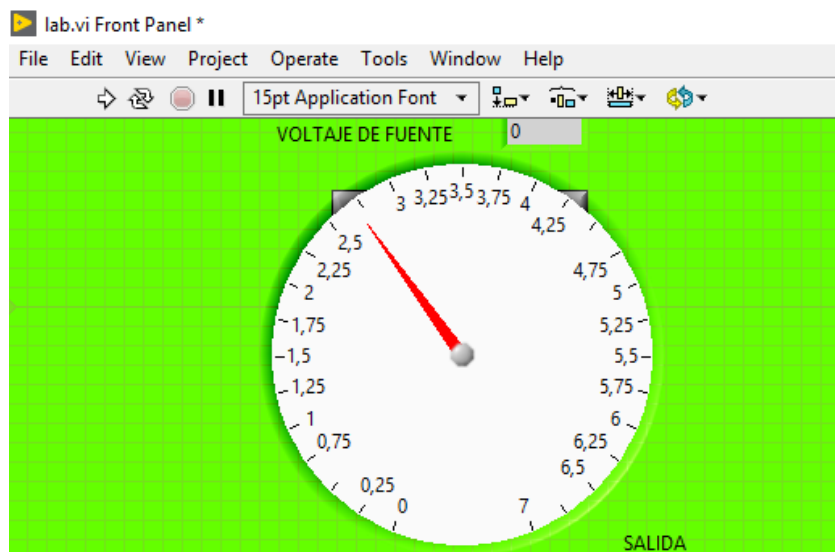
Características generales de las distintas placas de Arduino existentes. Elaborado por: Jhonatan Viscaino.

Con la placa de Arduino se puede realizar un sin número de proyectos, ya sea como proyectos estudiantiles o proyectos a nivel industrial (Torrente Artero, 2013). Para nuestro proyecto se elige utilizar Arduino Uno, ya que no necesitamos una cantidad excesiva de pines análogos y salidas de PWM, además cuenta con características de funcionamiento óptimas para nuestro circuito, voltaje de entrada, memoria flash y la interfaz de programación, como muestra en la tabla 2.1.

2.10 Interfaz gráfica de Labview

La interfaz de Labview lleva más de 20 años de funcionamiento, por lo que es una plataforma eficaz para el desarrollo y control de aplicaciones de instrumentación industrial. Además, posee distintas tarjetas para adquisición de datos una de ellas la DAC.

Figura 2.13. Interfaz virtual de Labview



Ejemplo de una interfaz virtual con labview. Elaborado por: Jhonatan Viscaino.

Su flexibilidad y potencia, le ha hecho expandirse a otras áreas tales como visión artificial, control de movimiento, interfaz hombre maquina (HMI) y Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA) para automatización industrial, además su crecimiento en áreas de diseño de control, sistemas embebidos en tiempo real (FPGAs, DSPs, microprocesadores). (Lajara Vizcaíno & Sebastián, 2007)

La plataforma de Labview es una herramienta de interfaz gráfica, en sus inicios el programa estaba dirigido al control de instrumentos electrónicos, por lo que, todos los ficheros guardados en Labview son llamados VI “Virtual Instruments”.

CAPÍTULO 3

DISEÑO DEL NUEVO SISTEMA

En este capítulo se muestra el diagrama de bloques actual del equipo y se describen los distintos criterios de diseño, para el circuito de control de voltaje ya que este controla todo el sistema enfocando la automatización en esta, además se muestra el diseño de la interfaz virtual mediante la plataforma de labview.

3.1 Descripción

En el presente proyecto el modelo del equipo denominado “cargador de baterías” se ha decidido las características de funcionamiento que sean de 48 Vdc, el motivo es por el cual se elige este valor de voltaje es que durante los últimos dos años el equipo de mayor comercialización ha sido el cargador de 48Vdc comparado a otros cargadores de distintas características como lo es de 72 Vdc o 120 Vdc, este cargador tiene una limitación de corriente de 10 A, con visualización de voltaje y corriente.

Acogiéndose al sistema análogo, se mantiene las características del circuito de fuerza, porque este circuito no necesita ser modificado para dar mejoras al sistema, el circuito de fuerza consta de un rectificador semicontrolado monofásico, el circuito de control será modificado para cumplir con los nuevos requerimientos, conservando el esquema de funcionamiento de realimentación de corriente y voltaje. El lazo de realimentación de corriente es interno, este entregará su máxima capacidad siempre y cuando las baterías estén lo suficientemente descargadas, el sistema entrega el máximo de corriente que es los 10 A, mientras que en la realimentación de voltaje permite tener el control final del voltaje de carga de las baterías.

El diagrama de bloques, existente en el equipo se mantiene porque se necesita tener las mismas características de funcionamiento. En la Figura 3.1 se observa el diagrama de bloques actual del equipo.

Figura 3.1. Diagrama de bloques del cargador de baterías

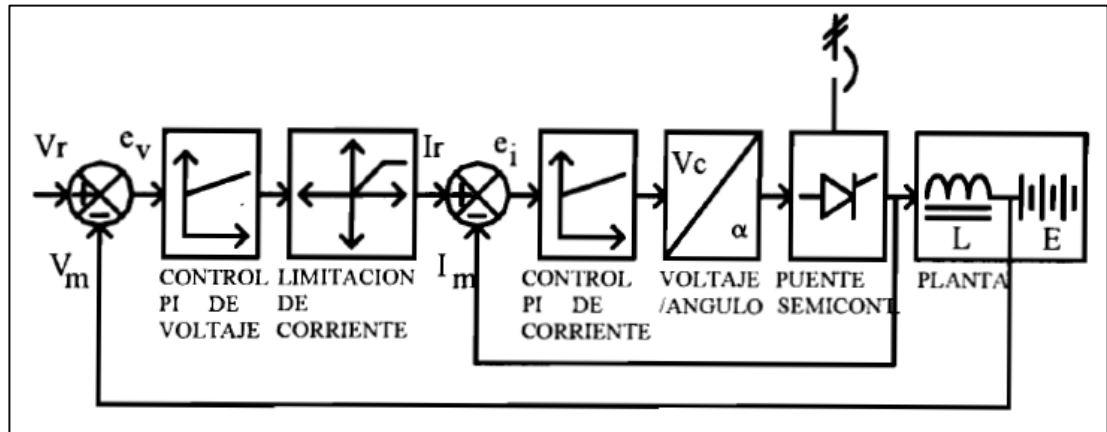


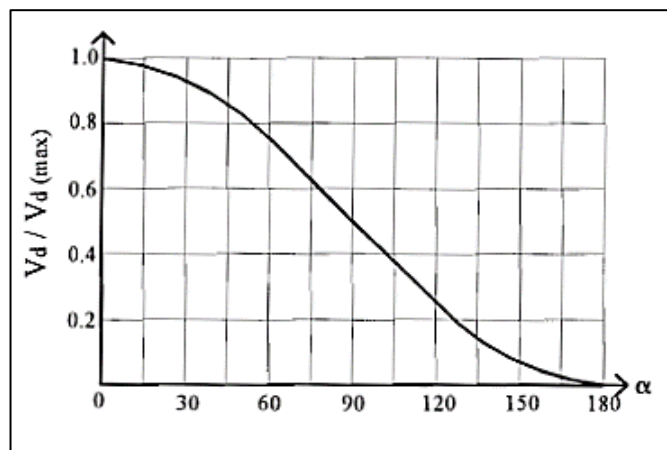
Diagrama de bloques, lazos de realimentación de voltaje y corriente. Fuente: (Egas, 2002)

En el diagrama de bloques de la Figura 3.1, en la entrada se tiene un voltaje de referencia denominado V_r (este es el voltaje final de carga de las baterías) o también conocido en los lazos de control como set point, y el voltaje de medición denominado V_m , el cual indica el voltaje final actual de las baterías, esta comparación entre el voltaje de referencia y el medido permite, que el sistema entregue o no la corriente máxima de carga (10 A).

3.2 Lazo de control de voltaje

En este lazo de control, se toma en cuenta el voltaje necesario para el devanado secundario, con la ecuación 2.6 se evalúa el voltaje requerido del transformador principal, además se conoce el voltaje nominal del banco de baterías para este proyecto se propone un cargador de baterías 48 Vdc – 10 A.

Figura 3.2. Voltaje V_d vs α



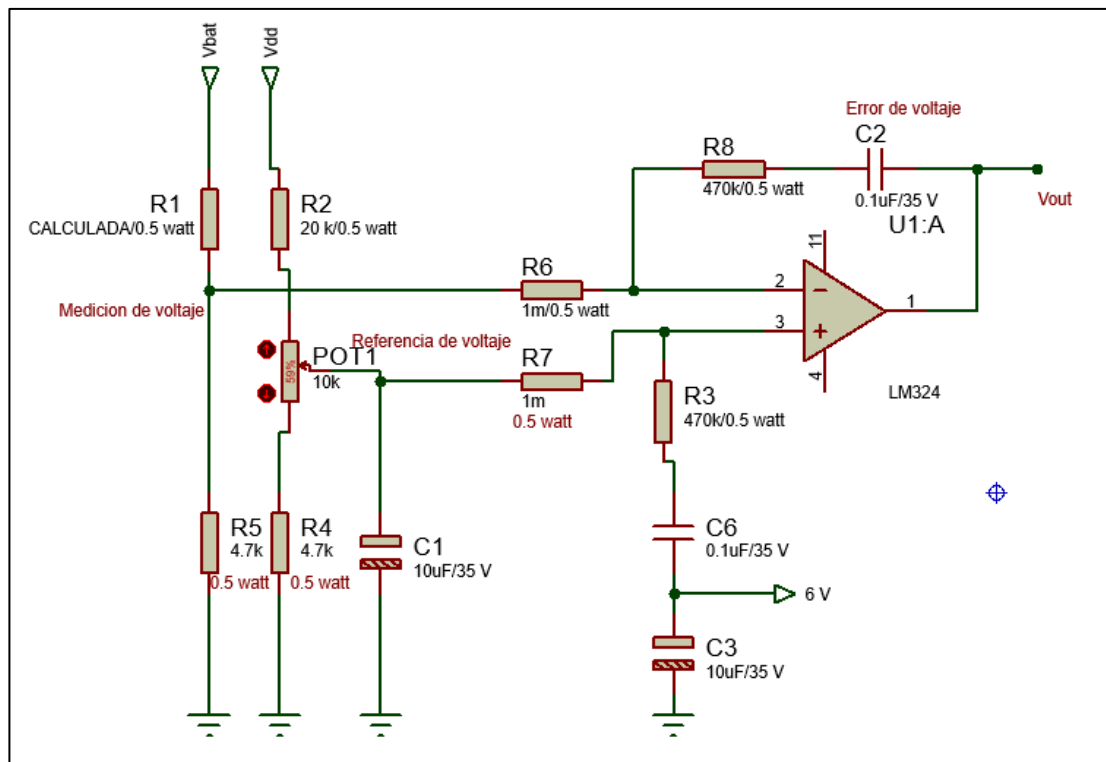
Voltaje del rectificador V_d en función del ángulo α . Fuente: (Rashid, 2015)

Se puede fijar un ángulo de trabajo nominal en 60° , de la Figura 3.2, de lo cual despejando de la Ecuación 2.6 se obtiene el voltaje del devanado secundario.

$$V_s = \frac{\pi * E}{\sqrt{2}} * \frac{1}{(1 + \cos \beta)} = \frac{\pi * 48}{\sqrt{2}} * \frac{1}{(1 + \cos 60^\circ)} = 71 \text{ V}$$

Hallado el valor del voltaje secundario, se observa, que los 71 V si logra abastecer el voltaje necesario para el suministro en las baterías, en este caso los 48 voltios. El lazo de control actual se muestra en la Figura 3.3, este tiene un comparador que genera la señal de error de voltaje, es decir, la diferencia existente entre el voltaje de referencia y el medido.

Figura 3.3. Comparador de voltaje

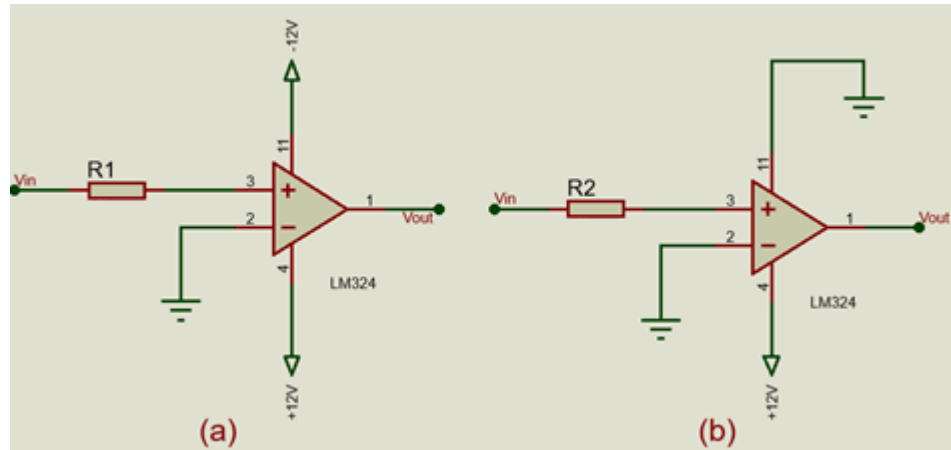


Circuito de control de voltaje, limitador de voltaje. Elaborado por: Jhonatan Viscaino.

En la Figura 3.3, se muestra el circuito actual de funcionamiento del lazo de voltaje análogo en el cual realiza la siguiente comparación, cuando el voltaje de referencia que ingresa al pin positivo del amplificador, es mayor al voltaje medido (voltaje que ingresa en el pin negativo del amplificador), la salida del amplificador se pone en un estado de 10 V. Y de manera viceversa, si el voltaje medido es mayor al voltaje de

referencia, la salida del amplificador se pone en un estado de 0 V. Sin embargo, los 0 V, se tiene ya que la alimentación del amplificador es únicamente con fuente positiva.

Figura 3.4. Referencia de tensión para el Amplificador Operacional (AOP)



Referencia de voltaje (a) con alimentación de ± 12 voltios, (b) con alimentación única de +12 voltios.
Elaborado por: Jhonatan Viscaino.

En la Figura 3.4 se observa, los tipos de referencia de tensión que pueden alimentarse al amplificador operacional, en la imagen (a) se muestra una alimentación de ± 12 V, mientras que la imagen (b), nos muestra la alimentación positiva única anteriormente mencionado, este tipo de referencia nos permite eliminar la saturación negativa existen en la Figura 3.4(a), con este tipo de conexión nuestra salida está limitada entre 0 y 10 V. Entonces se obtiene para la Figura 3.3 una alimentación única positiva para alimentar el AOP con un voltaje de +12 V y tierra (GND).

Estos 10 V sirven como referencia de corriente para la siguiente etapa, que es el control de corriente. En el circuito actual, consta de resistencias sobredimensionadas, para lo cual nos enfocamos en un parámetro especial del amplificador operacional, denominado factor de rechazo al modo común, sus siglas en inglés CMRR (Common mode rejection ratio), este parámetro que mide la cantidad de ruido que es capaz de eliminar un amplificador operacional. Viene definido por la siguiente ecuación:

$$CMRR = 20 \log \frac{A_d}{A_c} \quad \text{Ec. (3.1)}$$

Donde A_d es la ganancia diferencial y A_c la ganancia en modo común.

Tomando en cuenta, que si se desea eliminar totalmente el ruido, A_c la ganancia en modo común debe ser igual a cero, se tiene de la ecuación 3.1, lo siguiente.

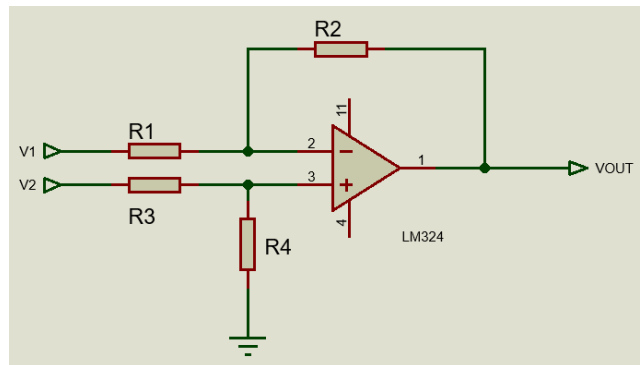
$$A_c = 0 \rightarrow CMRR = 20 \log \frac{A_d}{A_c} = \infty$$

Para lograr eliminar el ruido, se debe por lo tanto cumplir con la siguiente condición el amplificador debe funcionar en modo diferencial como muestra la Figura 3.5, este modo de configuración nos permite tener:

Si $R1=R3$ y $R2=R4$ entonces:

$$V_{out} = \left(\frac{R2}{R1} \right) * (V2 - V1) \quad \text{Ec. (3.2)}$$

Figura 3.5. Amplificador operacional Diferencial



Amplificador en modo diferencial, alimentación de +12v y Gnd. Elaborado por: Jhonatan Viscaino.

En este modo diferencial, o también conocido como restador la tensión de salida es proporcional a la diferencia de las tensiones de entrada. Tomando en cuenta estas condiciones se tiene, la Figura 3.3, donde se tiene en el lazo de realimentación un capacitor, este hace referencia a un amplificador operacional integrador. Donde la tensión de salida es, por tanto, la integral de la corriente de entrada, que es forzada a cargar C2 por el lazo de realimentación.

En otras palabras, la tensión de salida del amplificador integrador es proporcional al voltaje de entrada, según la ecuación:

$$\frac{\Delta V_{out}}{\Delta t} = \frac{-V_{in}}{R_6 * C_2} \quad \text{Ec. (3.3)}$$

Teniendo en cuenta la ecuación 3.3, se observa las formas de onda, de la Figura 3.6.

Figura 3.6. Vin vs Vout modo integrador

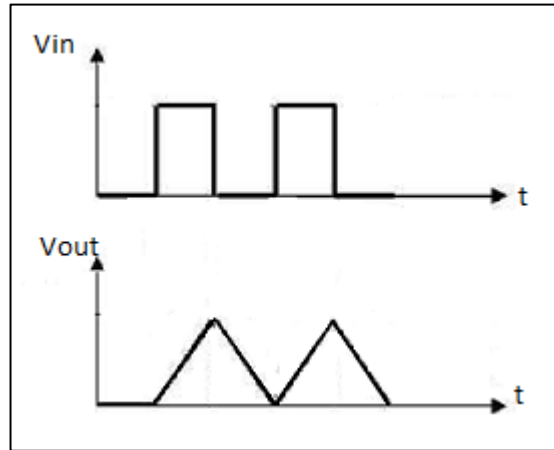


Diagrama de señales del amplificador en modo integrador. Elaborado por: Jhonatan Viscaino.

La función de rampa, mostrada en la Figura 3.6, depende de los valores de la resistencia de entrada 1 mega ohm(MΩ) de entrada y el capacitor (0.1μf). Por lo tanto, en la Figura 3.3, para caracterizar el circuito los valores de R6 y R7 son de 1 MΩ y R8 Y R3 son de 470 kilo ohm(kΩ), de esta forma se observa que cumple las condiciones de eliminación de ruido. El divisor de voltaje, perteneciente a la medición de voltaje de las baterías, está compuesto por una resistencia cuyo valor base es de R5=4.7 kΩ, mientras que la resistencia R1 tiene que ser calculada, recordando la fórmula del divisor de voltaje. La cual es:

$$V_{medicion} = V_{bat} * \left(\frac{R5}{R5+R1} \right) \quad \text{Ec. (3.4)}$$

Despejando R1 de la ecuación 3.4, se obtiene el valor de la resistencia para que su salida sea 6 voltios o un aproximado. Por lo tanto, tenemos:

$$R_1 = \frac{(V_{bat} * R5) - (V_{medicion} * R5)}{V_{medicion}} \quad \text{Ec. (3.5)}$$

Al despejar R1, se reemplaza los valores correspondientes a cada uno donde $V_{bat} = 55.2$ V, el voltaje de medición corresponde a 6 voltios y $R5=4.7$ k Ω , teniendo en cuenta esto se halla el valor de $R1=38540$ ohm, es decir una resistencia de 38 k Ω o 39 k Ω .

El voltaje de baterías, se asume un factor de 13.8 voltios como voltaje de flotación para una batería de 12 V, por lo que, el cargador de baterías presente en este proyecto es de 48 Vdc, el número de baterías a cargar es de 4 baterías a 12 V, o a su vez, 8 baterías de 6 V cada una. Por lo tanto, si el voltaje de flotación de 13.8 V por 4 baterías, se tiene un voltaje total de flotación total de 55.2 V.

El siguiente divisor de voltaje, tiene un voltaje de entrada de 12 V, las resistencias de R2 y R4, son las mismas 20 k Ω , mientras que el potenciómetro tiene un valor de 10 k Ω , esto nos permitirá tener un rango de 4.8 V hasta 7.2 V, como voltaje de salida teóricamente.

3.3 Lazo de control de corriente

En este lazo de corriente, se toma en cuenta el filtro inductivo que se tiene a la salida para eliminar el rizado del voltaje, por lo cual, se dimensiona de manera adecuada el valor de la inductancia para que soporte los 10 A de salida, de la ecuación 2.8 se puede calcular el valor de la inductancia. Despejando el valor de L , se tiene la siguiente formula.

$$L = \frac{\sqrt{2} * V_s}{\omega I_l} \left[\frac{1}{2} \cos \beta + \frac{1}{\pi} \sin \beta + \frac{\beta}{\pi} - 1/2 \right] \quad \text{Ec. (3.6)}$$

Con los datos que se obtuvieron anteriormente se tiene:

$$V_s = 71V$$

$$I_l = 10A$$

$$\beta = 60^\circ$$

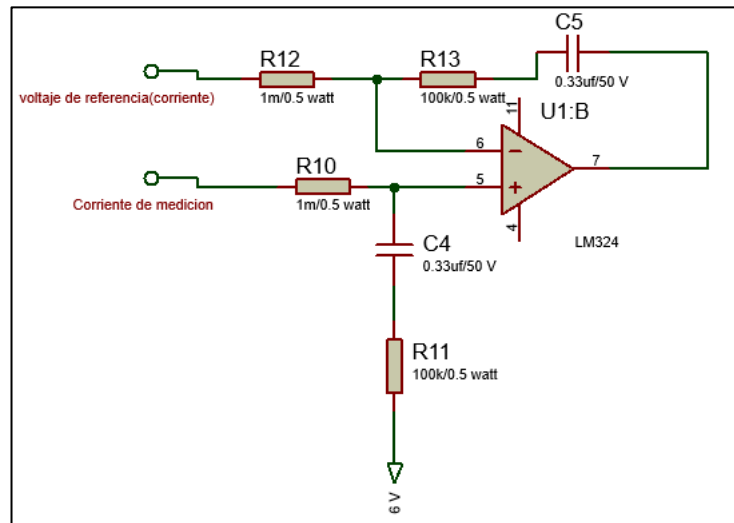
Se obtiene el valor de la inductancia:

$$L = 19mH$$

El valor de la inductancia nos sirve para dimensionar la bobina de choque y de esta manera tener un filtro a la salida del cargador de baterías. El tipo de configuración, del amplificador operacional es diferencial parecido al anterior bloque, este control se encarga de generar la señal de error en la corriente, la cual resta la señal de la corriente medida, de la corriente de referencia que proviene del lazo de control de voltaje.

En este amplificador se utiliza un control integrador mediante un capacitor C5 y la resistencia R12, como se muestra en la Figura 3.7. En este amplificador se elimina cualquier ruido, por lo que, se usa nuevamente la condición del CMRR, explicada anteriormente. Por lo tanto, las resistencias R12 y R10 tienen un valor de $1\text{ M}\Omega$, y las resistencias R13 y R11 poseen un valor de $100\text{ k}\Omega$, para que el circuito cumpla con las condiciones de CMRR.

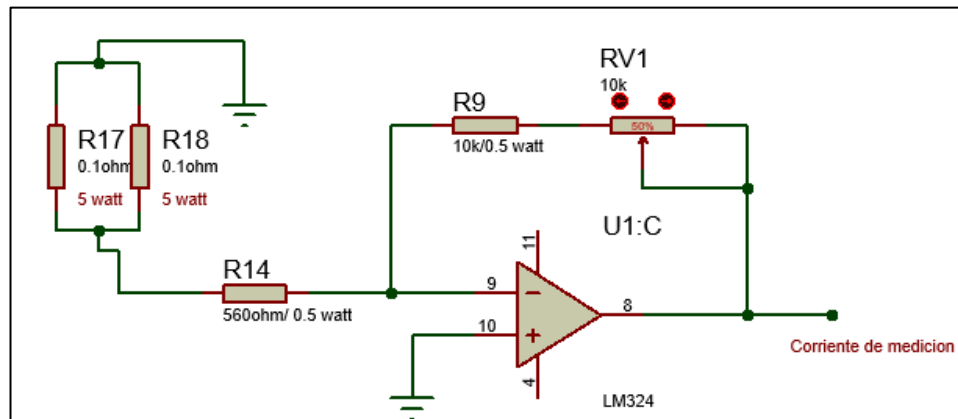
Figura 3.7. Lazo de control de corriente



Amplificador en modo diferencial, con control integral para el control de la corriente. Elaborado por: Jhonatan Viscaino.

Para la medición de corriente es necesario, usar un amplificador inversor como se muestra en la Figura 3.8. Este amplificador inversor es necesario ya que la medición de voltaje es negativa, y al usar el amplificador de este modo, la salida se obtiene con signo positivo.

Figura 3.8. Medición de la corriente de salida



Amplificador en modo inversor, para la medición de la corriente. Elaborado por: Jhonatan Viscaino.

El amplificador inversor sirve para tener una corriente de salida positiva, ya que la salida es un voltaje proporcional, con una polaridad contraria a la realimentación, como se observa en la Figura 3.9 el pin positivo del amplificador operacional tiene alimentación negativa, por lo que el voltaje de salida viene dado por la ecuación:

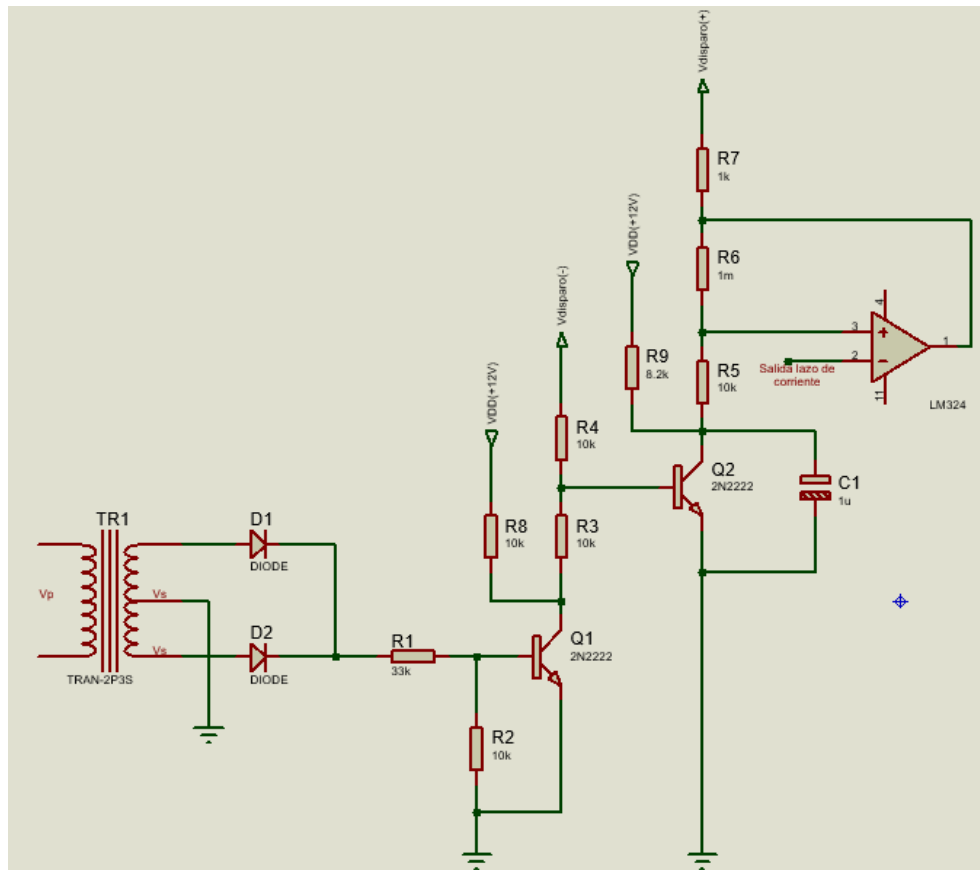
$$V_{out} = - \frac{R9+RV1}{R14} * V_{in} \quad \text{Ec. (3.7)}$$

El valor de medición es regulable mediante un potenciómetro RV1 de 10 kΩ, esto permite tener un ajuste de corriente de aproximadamente de 8 A hasta 12 A aproximadamente.

3.4 Convertidor voltaje/ángulo

El circuito del lazo de corriente, en la salida del amplificador operacional es el voltaje de control que se aplica al circuito del convertidor voltaje/ángulo. Como se muestra en la Figura 3.9, este circuito compara el voltaje de control con las rampas generadas en cada semiperiodo de la red. Cuando la rampa posee un valor mayor que el voltaje de control, del lazo de corriente, este produce la señal de disparo a los SCR.

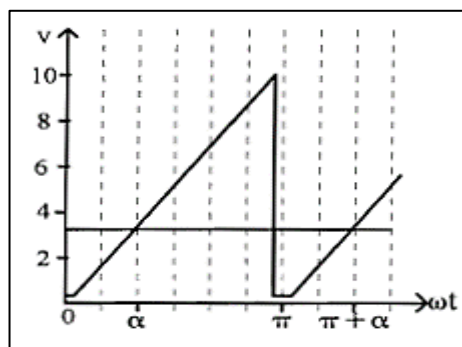
Figura 3.9. Convertidor voltaje/ángulo



Amplificador comparador, generador de rampas. Fuente: (Egas, 2002)

En este circuito, las rampas que se generan mediante los transistores los cuales tienen un rango de voltaje de 0 a 10 V, este rango permite un control del ángulo de disparo de 0° a 180° aproximadamente, en la Figura 3.10 se muestra las señales generadas mediante los transistores NPN.

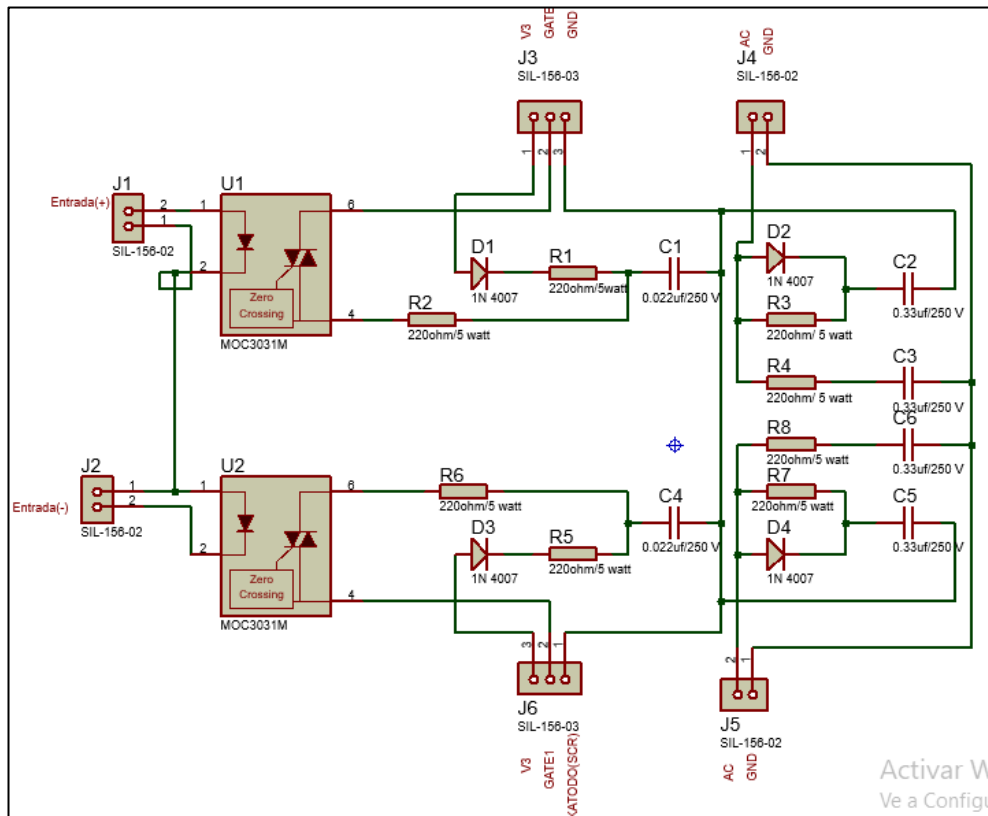
Figura 3.10. Señal de rampa, del transistor NPN



Voltaje de salida vs ωt , del generador de rampas. Fuente: (Egas, 2002)

El disparo generado, es una señal PWM generada por los transistores, estas señales se observan en la Tabla 4.1 donde se observa el ancho de pulso generado, esta señal es dirigido hacia los SCR, pero se lo realiza mediante unos opto acopladores, que permite hacer un aislamiento entre dos etapas de un circuito, Figura 3.12.

Figura 3.11. Disparo del SCR y red snubber



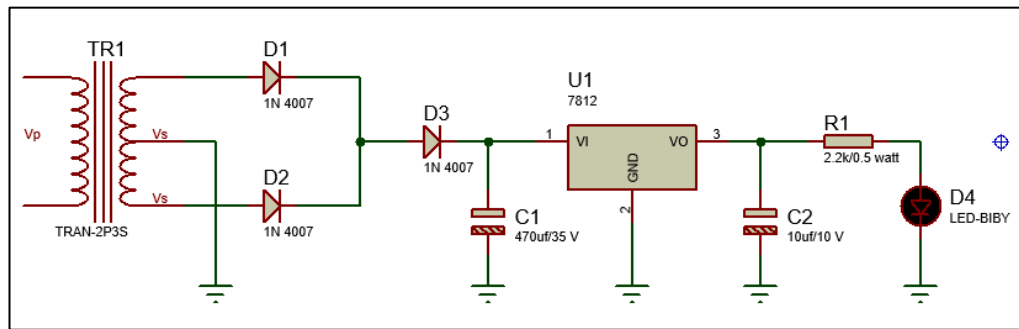
Circuito de disparo para los SCR asociada a dos redes snubber. Elaborado por: Jhonatan Viscaino.

En la Figura 3.12, se muestra además la asociación de la red snubber una para cada SCR, en esta red como se mencionó anteriormente consta de una resistencia de potencia de 220ohm/5 watt en paralelo con un semiconductor (en este caso un diodo 1N4007), y a su vez en serie con un capacitor de 0.33μf/250V.

3.5 Fuente de poder

Para el presente proyecto se usa una fuente de poder de +12 voltios, para el circuito de control, tal como se muestra en la Figura 3.13.

Figura 3.12. Fuente de poder +12V



Fuente de poder utilizando un LM7812. Elaborado por: Jhonatan Viscaino.

La fuente de +12 voltios, se la obtiene en base de un integrado regulador de voltaje conocido como LM7812, donde sus principales características de funcionamiento son:

$$V_o(V_{min}) = 11.5 \text{ V}$$

$$V_o(V_{max}) = 12.5 \text{ V}$$

$$I_o = 5 \text{ mA} - 1 \text{ A}$$

Dichas características son pertenecientes al fabricante por lo cual, se opta usar el circuito sugerido en el Datasheet.

3.6 Criterios de la caracterización

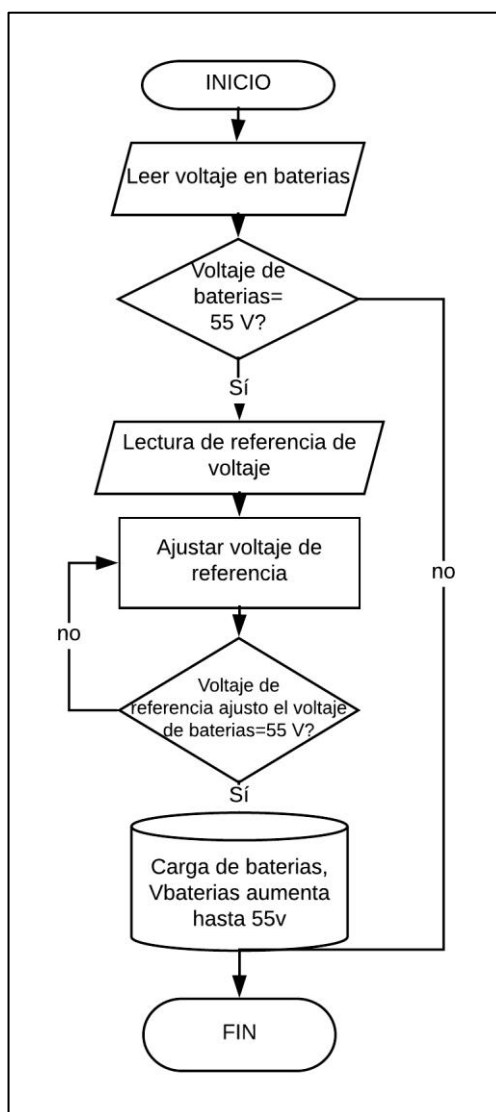
Tabla 3.1. Tabla de características del Control PI de voltaje

Control PI de voltaje			
#	Voltaje	Parámetro	Voltaje de salida
1	V. referencia	5.9 V	9.8 V
	V. medición	3.5 V	
2	V. referencia	5.9 V	7.6 V
	V. medición	4.9 V	
3	V. referencia	5.9 V	10 mV
	V. medición	5.9 V	

Número de mediciones del control PI de voltaje. Elaborado por: Jhonatan Viscaino.

Realizado el desglose total del equipo cargador de baterías, se tiene la idea clara de los principales parámetros para el nuevo sistema, este consiste en tres bloques principales, el primero el control PI de voltaje. En este control, se mencionó que está constituido por un amplificador diferencial-integral, de este modo se obtiene una salida variable a la salida, tal como se muestra en la Tabla 3.1, a medida que el voltaje de medición incrementa el voltaje de salida disminuye y viceversa.

Figura 3.13. Flujograma del Control de voltaje



Lógica funcional para el control de voltaje. Elaborado por: Jhonatan Viscaino.

La lógica funcional del bloque de control de voltaje, se observa, en la Figura 3.13, el segundo bloque está constituido, por el circuito de medición de la corriente.

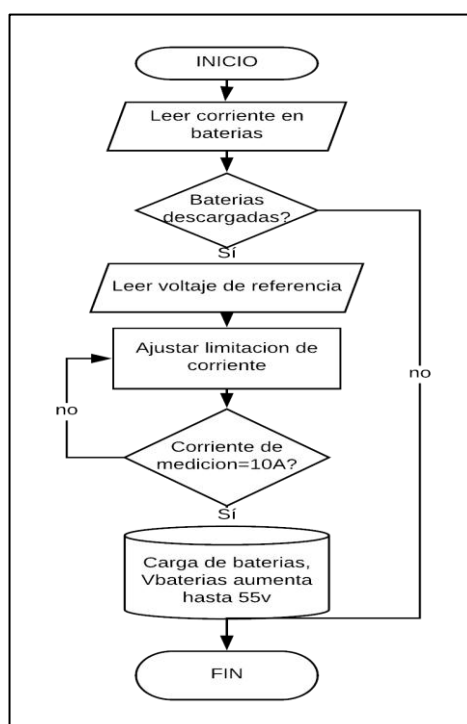
Tabla 3.2. Tabla de características del circuito de medición de corriente

Medición de corriente			
#	Voltaje	Parámetro	Voltaje de salida
1	V. medición	500 mV	9.8 V
2	V. medición	250 mV	4.7 V
3	V. medición	50 mV	0.8 V

Número de mediciones del circuito de medición de corriente. Elaborado por: Jhonatan Viscaino.

El amplificador inversor, muestra que su salida es proporcional a la salida cuando existe la mayor demanda de corriente, el voltaje de medición es 500 mV (mili voltios), por lo cual, el voltaje de salida es aproximadamente 10 V, teóricamente por la ecuación 3.7. Y viceversa cuando no existe mucha demanda el voltaje de medición es 50 mV y el voltaje de salida es aproximadamente 1 V.

Figura 3.14. Flujograma del circuito de medición de corriente



Lógica funcional para la medición de corriente. Elaborado por: Jhonatan Viscaino.

Estas dos etapas, de control de voltaje y medición de corriente se usa en un amplificador diferencial-integral, para el control de la corriente.

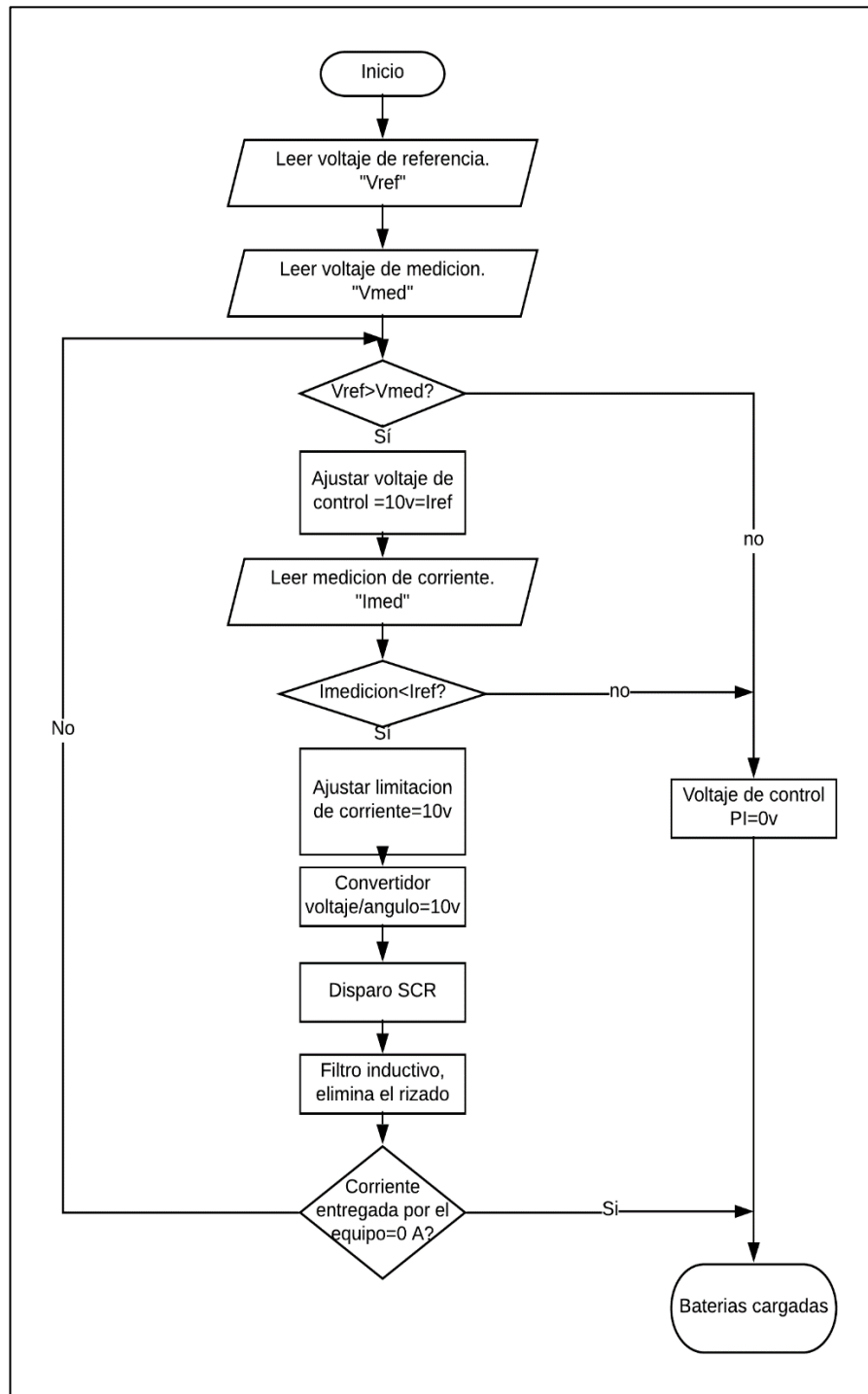
Tabla 3.3. Tabla de características del circuito de control de corriente

Control PI de corriente			
#	Voltaje de entrada	Parámetro	Voltaje de salida
1	V. control de voltaje	9.8 V	9.9 V
	V. medición	10 V	
2	V. control de voltaje	6.6 V	7.9 V
	V. medición	7 V	
3	V. control de voltaje	2.2 V	3 V
	V. medición	4 V	

Número de mediciones del circuito de medición de corriente. Elaborado por: Jhonatan Viscaino.

El voltaje de medición y el voltaje de control, son parecidos, si existe una máxima descarga de baterías exige la mayor corriente, por lo que su salida es proporcional al voltaje de medición de corriente, tal como se muestra en la Tabla 3.3.

Figura 3.15. Flujograma principal del funcionamiento del cargador de baterías



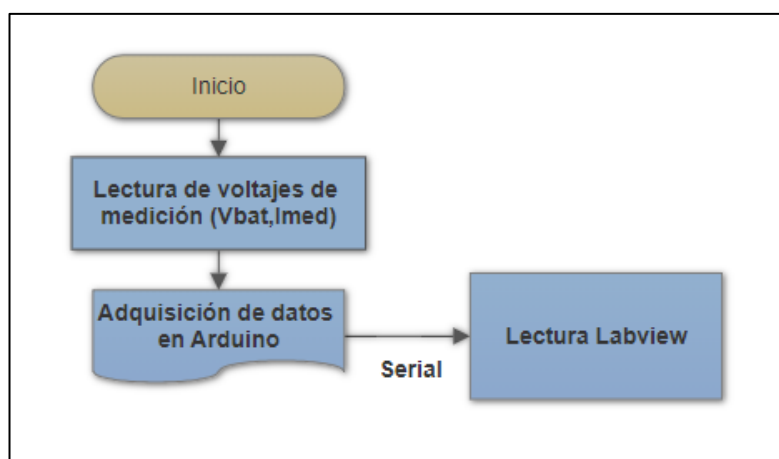
Lógica funcional del cargador de baterías. Elaborado por: Jhonatan Viscaino.

En la Figura 3.15 se muestra la lógica funcional del equipo cargador de baterías, este flujograma nos ayuda en la lógica de programación del microcontrolador, ya que sabemos paso a paso el funcionamiento general del equipo.

3.7 Diseño de Arduino más Labview

La interfaz de LabVIEW para Arduino, es muy sencilla de utilizar ya que posee varias herramientas para adquirir las señales de Labview una de ellas mediante “LIFA” Toolkit esta herramienta se puede descargar de forma gratuita del mismo servidor de National Instruments. (Ruiz Gutiérrez, 2012)

Figura 3.16. Flujograma de Arduino + Labview



Lógica funcional para la adquisición y visualización de datos. Elaborado por: Jhonatan Viscaino.

El microcontrolador Arduino, es una plataforma de muy bajo costo a nivel de ingeniería electrónica, sus múltiples modelos a nivel comercial van desde los \$7 dólares americanos, como lo es un Arduino nano, hasta los \$25 dólares de un Arduino mega, siendo este el más completo de todos los modelos. Con la interfaz de Labview para Arduino se puede aprovechar la potencia del entorno de programación gráfica de Labview. Y basta únicamente con conectar el cable de Arduino al ordenador.

Existen distintos protocolos de comunicación, entre la plataforma de Labview y Arduino, National Instruments “NI” ofrece toolkits (ayuda a los desarrolladores a crear rápida y fácilmente aplicaciones de interfaz de múltiples documentos en plataformas Windows.), para comunicarse con la placa de Arduino y poder configurarlo sin necesidad de escribir código en C.

En el presente proyecto, la plataforma de Labview sirve para recibir la información del Arduino al ordenador, para la visualización de datos, por lo que se usa las librerías de VISA para la comunicación por el puerto serie.

3.8 Diseño de tarjetas mediante el software CopperCAM

Para la fabricación de las tarjetas electrónicas en primer lugar se debe obtener el diseño del circuito impreso (PCB) libre de errores. Luego se crea un primer archivo en lenguaje GERBER, el cual se lo debe portar hacia un programa que edite y añada características requeridas para las tarjetas electrónicas como es el COPPER CAM. En este programa se configuran las dimensiones de las pistas, dimensiones de las perforaciones, además se seleccionan las herramientas a ser utilizadas para el trazado de las pistas, corte de placa, grabado y otras funciones. Finalmente se genera la secuencia que va a ser corrida en el programa MACH 3 que se encarga de controlar la CNC.

El router / fresadora CNC (control numérico por computador) modelo RX-FR3020-3 sirve para cortar y grabar en alto relieve diversidad de materiales tales como baquelita, madera, acrílico, cauchos, plásticos, etc. Es utilizada en las industrias electrónica, arquitectónica, publicitaria, maderera, artesanal. etc.

3.9 Descripción general del equipo

En la Figura 3.17 se muestra el gabinete con los elementos utilizados, en el equipo cargador de baterías:

Figura 3.17. Gabinete del equipo pre armado



Gabinete de 4 piezas pre armado, con los elementos para el cargador de baterías. Elaborado por:
Jhonatan Viscaino.

- Transformador monofásico: Voltaje de entrada 120 Vac (Voltaje de corriente alterna), voltaje del secundario 71 Vac, voltaje del terciario 14-0-14 Vac.
- Bobina de choque: Voltaje 72 V, corriente 10 A.
- SCR y Diodos: SCR de potencia 35 A y diodo rectificador de 35 amperios.
- Display DC: Marca Drok 20 A.
- Switch cuadrado con indicador luminoso de 20 A.
- 2 Porta fusibles americanos.
- Sensor de corriente de 30 A.

CAPÍTULO 4

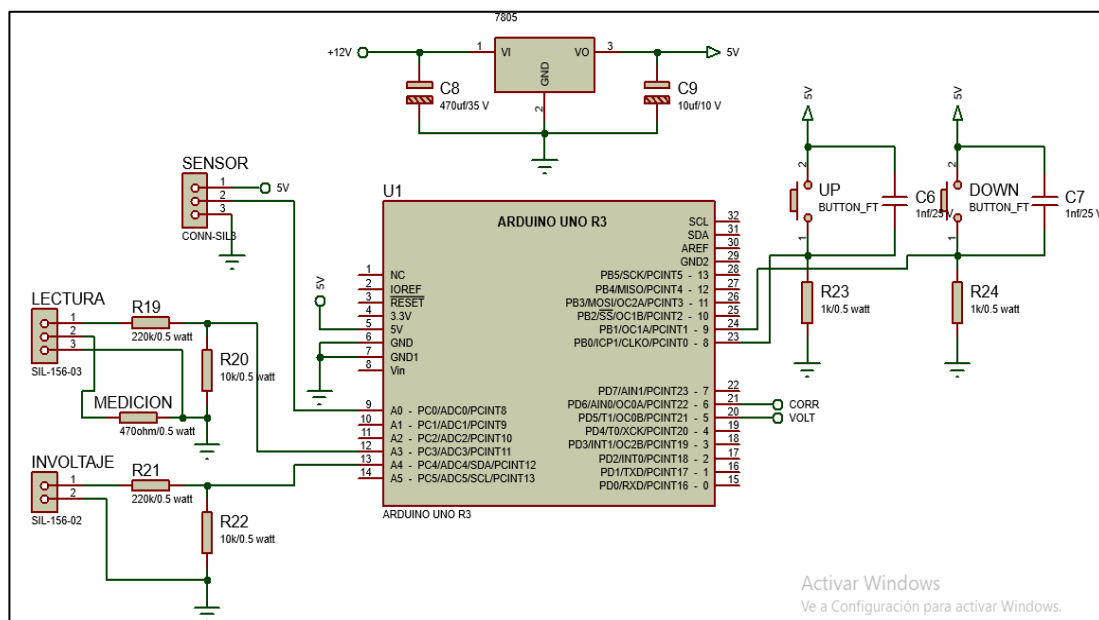
IMPLEMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo, se presenta las pruebas realizadas y los resultados obtenidos al trabajar con el microcontrolador Arduino, comparando los resultados con el sistema antiguo.

4.1 Descripción

Teniendo en cuenta, los flujogramas para el funcionamiento en el microcontrolador, se obtiene el nuevo sistema esquemático, el cual consiste en dos partes fundamentales la primera etapa de adquisición de los datos.

Figura 4.1. Sistema esquemático del nuevo sistema



Sistema electrónico esquemático en el software Isis de Proteus, para el cargador de baterías.

Elaborado por: Jhonatan Viscaino.

La segunda parte es el convertidor de voltaje a PWM, este circuito electrónico sigue siendo el mismo mostrado en la Figura 3.9, ya que es un circuito muy simple y muy efectivo para la generación de anchos de pulsos.

El PCB final, es diseñado mediante la plataforma de Ares de proteus, aquí se muestra el diseño final de la placa a implementar para el cargador de baterías, con el microcontrolador de Arduino Uno, mostrado en la Figura 4.2.

El componente del Arduino uno, se creó uno propio ya existen muchas librerías de Arduino para proteus, sin embargo, ninguna de esta cuenta con su package completo es decir su componte esquemático y de simulación para la fabricación de placas.

Para realizar las pruebas de funcionamiento del equipo, se coloca en serie un banco de cuatro baterías con conexión en serie, de la marca “baterías ecuador”, cuyas principales características son 12 Vdc/55Ah. Las baterías deben estar descargadas para realizar las

distintas limitaciones de voltaje a 55 V y corriente 10 A, los principales parámetros son:





- Curva características de voltaje.
- Forma de onda de disparo máxima corriente 10 amperios y una baja corriente aproximadamente 2 A.
- Formas de onda en los SCR.

Se sigue el mismo procedimiento del protocolo de pruebas del sistema antiguo realizando pruebas de set point con distintos voltajes, y de esta manera visualizar formas de ondas en los componentes fundamentales.

4.2.1 Curva característica de voltaje


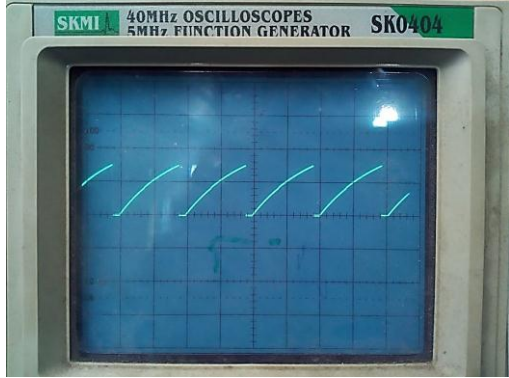


Las curvas características de voltaje se relacionan con la rampa generada con el circuito generador de PWM, la salida de PWM sirve para verificar que sigue cumpliendo con los requerimientos del sistema análogo antiguo vs el sistema digital actual se muestra en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Sistema análogo vs sistema digital

Sistema análogo antiguo	Sistema nuevo digital
	
$V_{set\ point} = 49\ V$	$V_{set\ point} = 49\ V$
$A_{medidos} = 0.82\ A$	$A_{medidos} = 0.74\ A$
Rampa de sincronismo generado por los transistores, con un voltaje de set point de 49 V aproximados, con una escala de 5 (V/div) y una frecuencia de 2 mili segundos por división (ms/div).	
Sistema análogo antiguo	Sistema nuevo digital
	
Pulsos de disparo generado por el amplificador operacional que alimentan a los leds de los opto acopladores MOC3010, con un voltaje de set point de 49 V aproximados, con una escala de 5 (V/div) y una frecuencia de 2 (ms/div).	

Rampas de sincronismo y pulsos de disparo generados por el sistema antiguo comparados con el nuevo sistema. Elaborado por: Jhonatan Viscaino.

Tabla 4.2. Sistema análogo vs sistema digital con el voltaje de flotación

Sistema análogo antiguo	Sistema nuevo digital
	
$V_{set\ point} = 55\ V$	$V_{set\ point} = 55\ V$
$A_{medidos} = 1.55\ A$	$A_{medidos} = 1.11\ A$
Rampa de sincronismo generado por los transistores, con un voltaje de set point de 55 voltios aproximados, con una escala de 5 (V/div) y una frecuencia de 2 (ms/div).	
Sistema análogo antiguo	Sistema nuevo digital
	
Pulsos de disparo generado por el amplificador operacional que alimentan a los leds de los opto acopladores MOC3010, con un voltaje de set point de 55 V aproximados, con una escala de 5 (V/div) y una frecuencia de 2 (ms/div).	

Rampas de sincronismo y pulsos de disparo generados por el sistema antiguo comparados con el nuevo sistema. Elaborado por: Jhonatan Viscaino.

En la Tabla 4.1 muestra las formas de ondas correspondientes al protocolo de pruebas a realizar en cualquier equipo con el sistema análogo, y se compara con el nuevo sistema para verificar su funcionamiento, comenzando con un set point de 50 V aproximados este es menor al voltaje de flotación deseado, el cual es de 55 V aproximados en la Tabla 4.2 muestra las ondas adquiridas con este voltaje aproximado.

La escala de tiempo para las dos Tablas 4.1 y 4.2 es de 2ms/div, la cual muestra el aumento en la amplitud del disparo, en la primera Tabla 4.1 la amplitud es la mitad del ciclo mientras que en la Tabla 4.2 ocupa todo el ciclo de 2ms/div, estos pulsos de disparo son los que alimentan los leds de los opto acopladores para que activen los SCR, en la sección 4.2.3 muestra las formas de onda con dichos voltajes.

Figura 4.3. Función de set point de voltaje

```
void setpoint(){
    contarbotonvoltaje();
    voltaje();

    if (voltaje_final<=55){
        voltaje_fin = map(voltaje_final, 0, 55, 103, 114);      // SETEO DE VOLTAJE CON 4 BATERIAS 11
        analogWrite(generator, voltaje_fin);
    }

    else if(voltaje_final>55){

        voltaje_fin = map(constrain(voltaje_final, 30, cont1), 30 , cont1 , 140 , 110);
        analogWrite(generator, voltaje_fin);
    }
}
```

Lenguaje de programación de set point de voltaje en el software de Arduino. Elaborado por: Jhonatan Viscaino.

El set point o control de voltaje se realiza mediante la configuración de los valores dentro de la función de “setpoint”, se limita el voltaje para que este no exceda el voltaje de flotación de 55 V, además se incluye otra función de seteo de voltaje de forma manual ya que existen clientes que necesitan otros tipos de voltajes, para eso se incluye un contador mediante botones para el seteo de voltaje, si fuese el caso. Se toma cierto número de muestras del voltaje análogo, y se los compara con el voltaje digital y sus salidas de PWM.

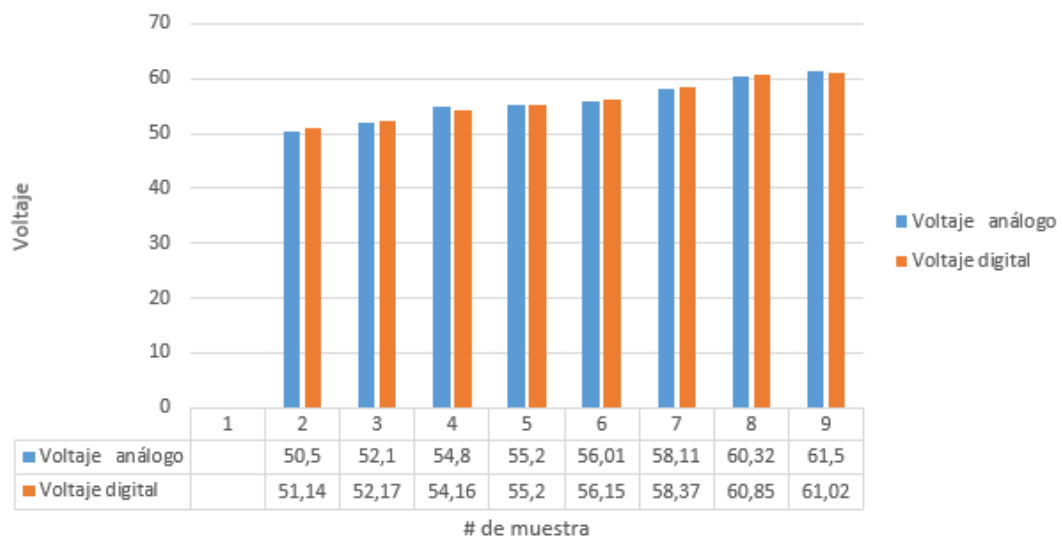
Tabla 4.3. Tabla de valores de voltaje análogo vs digital

# muestra	Voltaje análogo (Va)	PWM generado	Voltaje digital (Vd)	PWM generado	% Error $V = (Vd - Va)/Va$
1	50,5	0,85	51,14	0,74	1,267
2	52,1	0,93	52,17	0,85	0,134
3	54,8	1,07	54,16	1,03	1,168
4	55,2	1,1	55,2	1,11	0,000
5	56,01	1,14	56,15	1,26	0,250
6	58,11	1,28	58,37	1,48	0,447
7	60,32	1,5	60,85	2,01	0,879
8	61,5	2,3	61,02	2,28	0,780
Promedio	56,07	1,27	56,13	1,35	0,62

Tabulación de datos de 8 muestras de voltaje y la salida PWM. Elaborado por: Jhonatan Viscaino.

Iniciando con un valor de 50 V aproximados, en intervalos de dos voltios a excepción del voltaje de flotación de 55.2 V se toma 8 muestras, para la interpretación de datos.

Figura 4.4. Tabulación de datos de voltaje análogo vs digital



Gráfica de Excel mostrando el valor del voltaje final comparado con el sistema antiguo vs el digital.

Elaborado por: Jhonatan Viscaino.

Como se muestra en la Figura 4.4 y la Tabla 4.3 el valor final del voltaje, es muy similar al funcionamiento del cargador con el sistema análogo en el promedio del porcentaje de error es de 0.62% por lo que el requisito de protocolos de pruebas cumple con lo establecido para un óptimo funcionamiento.

4.2.2 Forma de onda con una corriente máxima de 10 amperios y una corriente de 2 amperios

La corriente en el sistema análogo funciona mediante la adquisición de unas resistencias 0.1 ohm/5w de potencia conectadas en paralelo, esta señal era amplificada mediante un amplificador operacional con una relación de 0 a 500 mV y una amplificación de 0 a 10 A respectivamente, para el sistema digital la adquisición de la corriente se realiza mediante un sensor ACS712 de corriente para Arduino.

Figura 4.5. Función para la lectura de corriente

```
/// FUNCION CORRIENTE

float get_corriente(int n_muestras)
{
    float voltajeSensor;
    //float voltajeSensor2;
    float corriente=0;

    for(int i=0;i<n_muestras;i++)
    {
        voltajeSensor = analogRead(A0)*(5.0 / 1023.0);////lectura del sensor
        corriente=corriente+(voltajeSensor-2.5)/sens; //Ecuación para obtener la corriente
    }

    corriente=corriente/n_muestras;
    float x = corriente*-1;




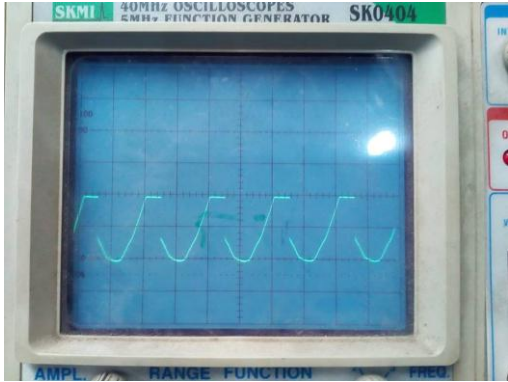
    return(x);
}
```

Lenguaje de programación para la lectura de corriente mediante el sensor ACS712. Elaborado por:
Jhonatan Viscaino.

El modelo del sensor tiene una capacidad de ± 30 amperios, por lo cual su sensibilidad es de 66 mV/A, entre sus características principales estas que entrega un valor de 2.5 V aproximadamente para una corriente de 0 A, y a partir de este valor incrementa el voltaje de acuerdo a la sensibilidad, se tiene una relación lineal entre la corriente de medición y la salida del voltaje del sensor.

Además, se incluye un filtro para obtener el promedio de un cierto número de muestras de esta manera se elimina el ruido adquirido por el sensor de corriente.

Tabla 4.4. Formas de onda de corriente con 2 amperios y 10 amperios

Sistema análogo antiguo (2 A)	Sistema nuevo digital (2 A)
	
Forma de onda característica de corriente de 2 A a la salida del sistema, con una escala de 5 (V/div), y una escala de tiempo de 2ms/div.	
Sistema análogo antiguo (10 A)	Sistema nuevo digital (10 A)
	
Forma de onda característica de corriente de 10 A, a la salida del sistema, con una escala de 5 (V/div), y una escala de tiempo de 2ms/div.	

Formas de onda adquiridas en el osciloscopio para una corriente de 2 amperios y 10 amperios correspondientemente. Elaborado por: Jhonatan Viscaino.

Se toma de igual manera un cierto número de muestras de la corriente con el sistema análogo, y se los compara con el sistema digital y sus salidas de PWM.

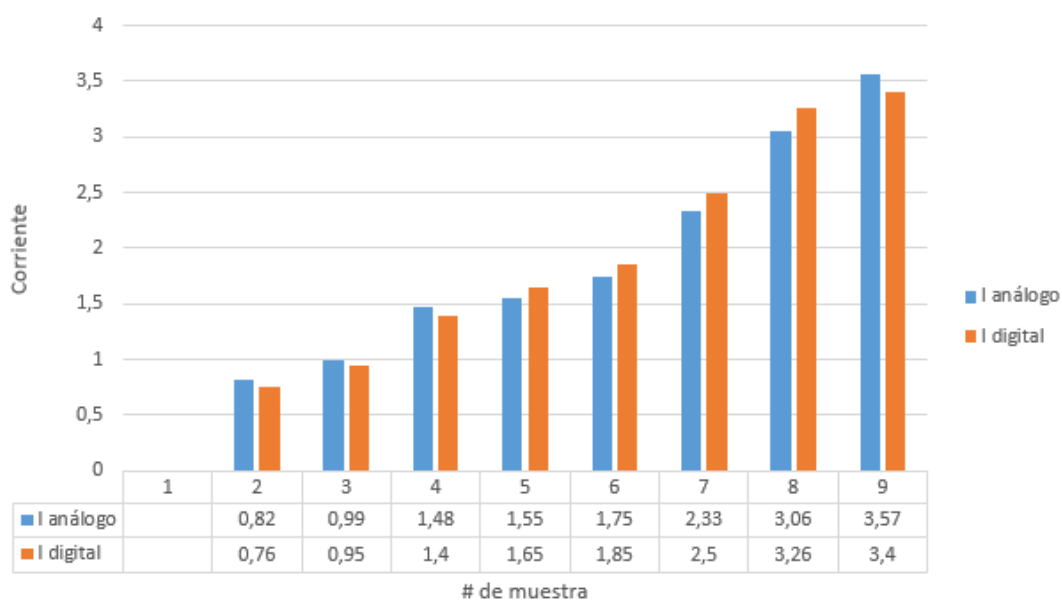
Tabla 4.5. Tabla de valores de corriente, análogo vs digital

# muestra	I análogo(Ia)	PWM generado	I digital (Id)	PWM generado	% Error I= (Id-Ia)/Ia
1	0,82	0,85	0,76	0,74	7,3
2	0,99	0,93	0,95	0,85	4,04
3	1,48	1,07	1,4	1,03	5,4
4	1,55	1,1	1,65	1,11	6,4
5	1,75	1,14	2,85	1,26	5,7
6	2,33	1,28	2,5	1,48	7,2
7	3,06	1,5	3,26	2,01	6,5
8	3,57	2,3	3,4	2,28	4,7
Promedio	1,94	1,27	1,96	1,35	5,4

Tabulación de datos de 8 muestras de corriente y la salida PWM. Elaborado por: Jhonatan Viscaino.

El número de muestras es de 8, los cuales son los valores adyacentes de la Tabla 4.3 de voltaje, en la Tabla 4.5 muestra los valores pertenecientes a la corriente de salida para la interpretación de datos.

Figura 4.6. Tabulación de datos de corriente análogo vs digital





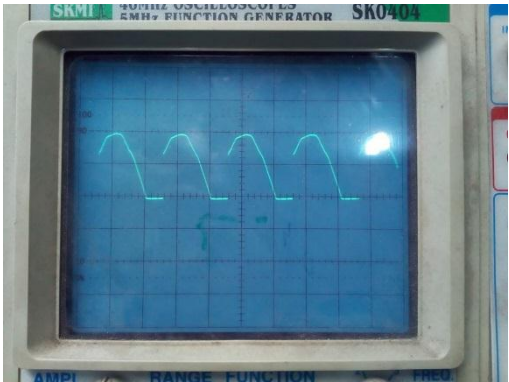

Gráfica de Excel mostrando el valor de corriente final comparado con el sistema antiguo vs el digital.

Elaborado por: Jhonatan Viscaino.

4.2.3 Formas de onda en los SCR

En la Tabla 4.6 se muestra las formas de onda correspondientes al voltaje ánodo – cátodo de los SCR, cuando el equipo entrega una capacidad de carga de 2 A y 10 A.

Tabla 4.6. Formas de onda ánodo - cátodo con 2 amperios y 10 amperios

Sistema análogo antiguo (2 A)	Sistema nuevo digital (2 A)
	
Forma de onda característica ánodo - cátodo de 2 amperios a la salida del sistema, con una escala de 5 (V/div), y una escala de tiempo de 2mS/div.	
Sistema análogo antiguo (10 A)	Sistema nuevo digital (10 A)
	
Forma de onda característica ánodo - cátodo de 10 amperios a la salida del sistema, con una escala de 5 (V/div), y una escala de tiempo de 2mS/div.	

Formas de onda adquiridas en el osciloscopio referencia ánodo – cátodo de 2 amperios y 10 amperios correspondientemente. Elaborado por: Jhonatan Viscaino.

4.3 Pruebas de campo

Para obtener las pruebas de campo, se obtienen a partir de un banco de baterías descargadas de esta manera el equipo parte de un estado de carga total de 10 amperios, el equipo es enviado a un cliente externo de la empresa para que compruebe su

funcionamiento, en el cual se le pide anotar los valores de tiempo de carga, y los valores de voltaje y corriente, del sistema análogo y del nuevo sistema digital. Obteniendo los siguientes datos:

Tabla 4.7. Tiempo de carga, voltaje y corriente sistema análogo

Tiempo-hora	Corriente-amperios (A)	Voltaje-voltios (V)
1	9,98	46,6
2	9,98	49,2
3	9,97	52,1
4	9,98	52,9
5	9,02	53,3
6	9,00	53,9
7	8,38	54,1
8	7,98	54,2
9	5,57	54,6
10	3,45	54,9
11	2,51	55,1
12	0,91	55,5
13	0,55	55,5
14	0,21	55,6

Valores adquiridos por la empresa Celco de un cargador de baterías de 48 voltios-10 amperios con el sistema análogo. Elaborado por: Jhonatan Viscaino.

Los datos mostrados en la Tabla 4.7, son los presentados por el cliente, en la Tabla 4.8 muestra los datos adquiridos por el mismo cliente, reemplazando por el nuevo sistema digital.

Tabla 4.8. Tiempo de carga, voltaje y corriente sistema digital

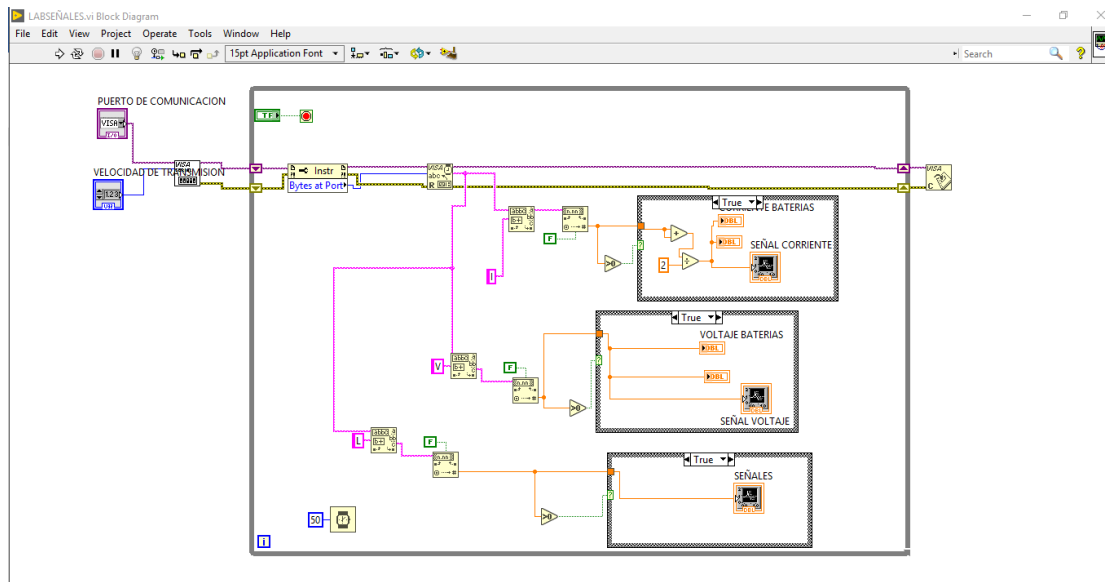
Tiempo-hora	Corriente- amperios	Voltaje-voltios
1	10,2	47,9
2	10,1	49,9
3	9,8	51,6
4	8,7	52,8
5	8,1	53,1
6	7,6	53,6
7	6,2	53,8
8	5,0	54,1
9	3,9	54,9
10	2,1	55,4
11	0,9	55,3
12	0,1	55,4

Valores adquiridos por la empresa Celco de un cargador de baterías de 48 voltios-10 amperios con el sistema digital. Elaborado por: Jhonatan Viscaino.

4.4 Implementación de la interfaz virtual

Al adquirir las señales mediante el microcontrolador de Arduino Uno, el dato se puede mostrar en Labview, para esto, se configura la interfaz configurando el puerto serial COM4 y la velocidad de transmisión a 9600 bps.

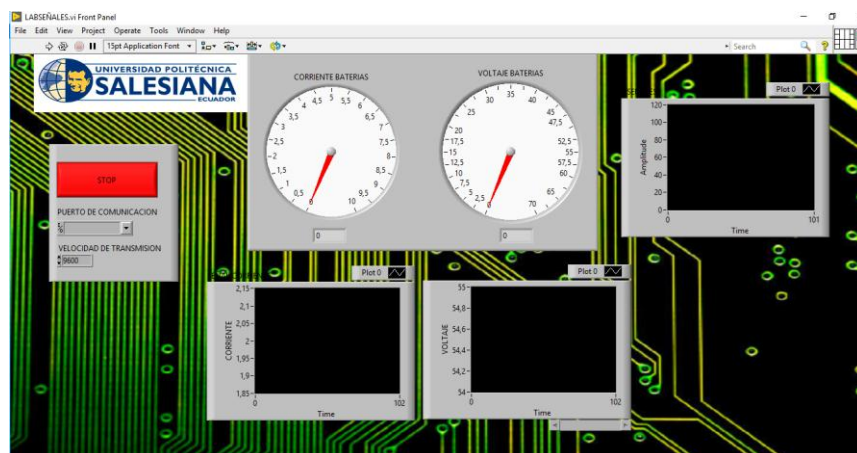
Figura 4.7. Diagrama de bloques de Labview



Interfaz en labview para la adquisición de los datos de Arduino. Elaborado por: Jhonatan Viscaino.

Labview es un lenguaje de programación muy fácil de utilizar ya que utiliza un diagrama de programación de bloques, todo el sistema está encerrado en un lazo de while loop, para una transmisión de datos constante.

Figura 4.8. Panel frontal de Labview



Interfaz en labview para la visualización de datos de Arduino. Elaborado por: Jhonatan Viscaino.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

1. El equipo cargador de baterías, se sometió a un procedimiento de caracterización de software donde se encontró que el funcionamiento principal se basa en la utilización del amplificador operacional LM324, las diferentes configuraciones del amplificador operacional utilizadas en el sistema análogo para su funcionamiento son como amplificador inversor, el cual se usa la medición de corriente y el amplificador en modo diferencial para el control de voltaje y corriente.
2. Hallado todas las variables que usa el sistema análogo se diseñó un nuevo esquema de funcionamiento, donde se eligió usar el microcontrolador Arduino Uno por sus características de funcionamiento en multi plataformas como Windows, Linux además dispone de un bootloader pregrabado que permite cargar un nuevo código sin la necesidad de un programador externo, y posee una comunicación serial USB lo que facilita la comunicación entre el Arduino y la plataforma de Labview.
3. Con las variables a utilizar, se implementó el nuevo sistema usando como tarjeta principal la placa de Arduino uno, además no se utiliza las resistencias de potencia y el AOP en modo inversor de la Figura 3.8 para obtener el valor de la corriente, ya que se reemplazó con un sensor de corriente GY712 ± 30 Amperios este sensor nos permite hallar el valor de la corriente mediante instrucciones en el software de programación de Arduino Uno, aplicando muestreo y filtrado nos permitió incrementar mayor número de muestras mejorando así la precisión de corriente a la salida del equipo.
4. Se utilizó el software de Labview para la visualización de datos del cargador de baterías, ya que su lenguaje de programación es gráfico se configuró el puerto serial y la velocidad de transmisión mostrado en la Figura 4.7 para visualizar los datos de voltaje y corriente. Además, que el Arduino Uno posee comunicación serial USB, y no es necesario usar otro tipo de conexiones para obtener los datos en un ordenador.

5. Se obtuvo la automatización del equipo cargador de baterías mediante las pruebas de campo, como se muestra en la Tabla 4.3 la comparación del sistema análogo vs el digital en relación al voltaje posee un margen de error de 0.62%, de la misma forma en la Tabla 4.5 la comparación con relación a la corriente posee un margen de error de 5.9%, estos valores para el funcionamiento del cargador son los deseados ya que al realizar una segunda prueba de campo con un cliente externo a la empresa se obtuvieron valores óptimos de funcionamiento como muestran las Tablas 4.7 y 4.8, es decir el sistema se asemeja al sistema análogo antiguo.

RECOMENDACIONES

- Se debe tener en cuenta el tipo de sensor de corriente a usar para este proyecto se utilizó el (ACS712ELCTR-30A-T) cuya sensibilidad es de 66mV por amperio, en caso de algún fallo de este sensor se debe reemplazar por uno de las mismas características, ya que si se utiliza otro sensor de distintos parámetros no funcionará.
- Hay que tener en cuenta el acondicionamiento que debe tener la entrada de voltaje hacia el Arduino uno, ya que solo acepta valores entre 0 y 5 V. Si sobrepasamos este valor el pin del Arduino se verá afectado y causará fallas en el sistema.
- Para la programación en Arduino Uno, en las instrucciones de muestreo tanto de voltaje y corriente no hay que sobrepasar las 500 muestras ya que si se excede este valor el tiempo de respuesta del Arduino se verá afectado.

LISTA DE REFERENCIAS

BOSCH. (2002). *Manual de la tecnica del automovil*. Reverte S.A.

Clavijo Mendoza, J. (2011). *Diseño y simulación de sistemas microcontrolados en lenguaje C*. Colombia.

Egas, J. (2002). *Diseño y construccion de un cargador automatico de baterias de 120 V / 10 A*. Quito.

Guacaneme, J., Velasco, D., & Trujillo, C. (2014). Revisión de las características de sistemas de almacenamiento de energía para aplicaciones en micro redes. *Informacion Tecnologica*.

Hart, D. W. (2001). *Electrónica de Potencia*. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN S.A.

Kiehne, H. (2003). *Battery Technology Handbook*. Germany: Expert Verlag.

Lajara Vizcaíno, J. R., & Sebastián, J. P. (2007). *Labview, Entorno gráfico de programación*. México D.F.: Alfaomega, marcombo.

Linden, D., & Reddy, T. (2001). *Handbook of Batteries*. McGraw-Hill,.

Rashid, M. H. (2015). *Electrónica de potencia, Circuitos, Dispositivos y Aplicaciones*. Pearson Educación.

Ruiz Gutiérrez, J. M. (2012). *Labview+Arduino, Utilización de Labview para la Visualización y Control de la Plataforma Open Hardware Arduino*.

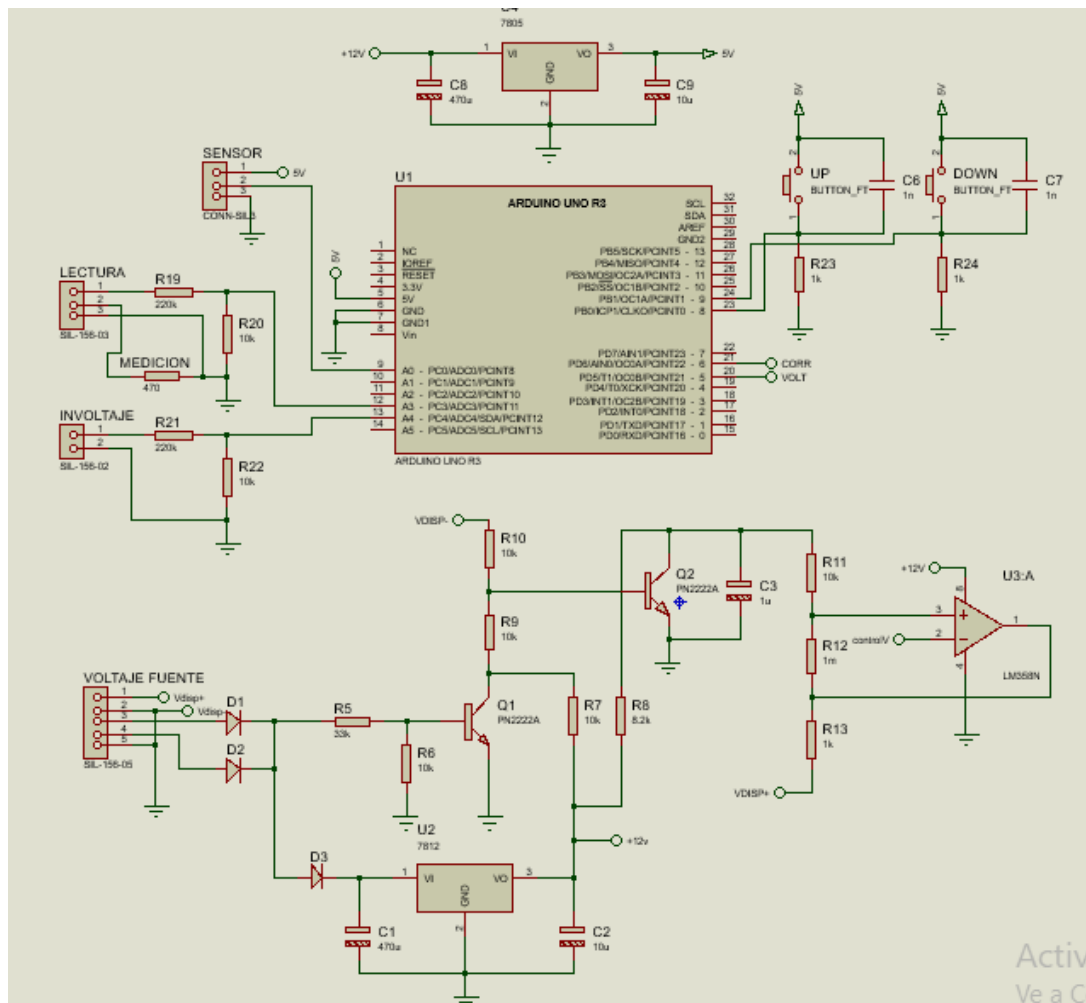
Torrente Artero, Ó. (2013). *Arduino, Curso práctico de formacion*. México: Alfaomega.

Verle, M. (2011). *Microcontroladores PIC – Programación en BASIC*.

Yuasa. (2014). *Yuasa Battery*. Obtenido de Características de carga y descarga de la batería:
<https://www.yuasa.es/informacion/motociclismo-y-deportes-de-motor/caracteristicas-de-carga-y-descarga-de-la-bateria/>

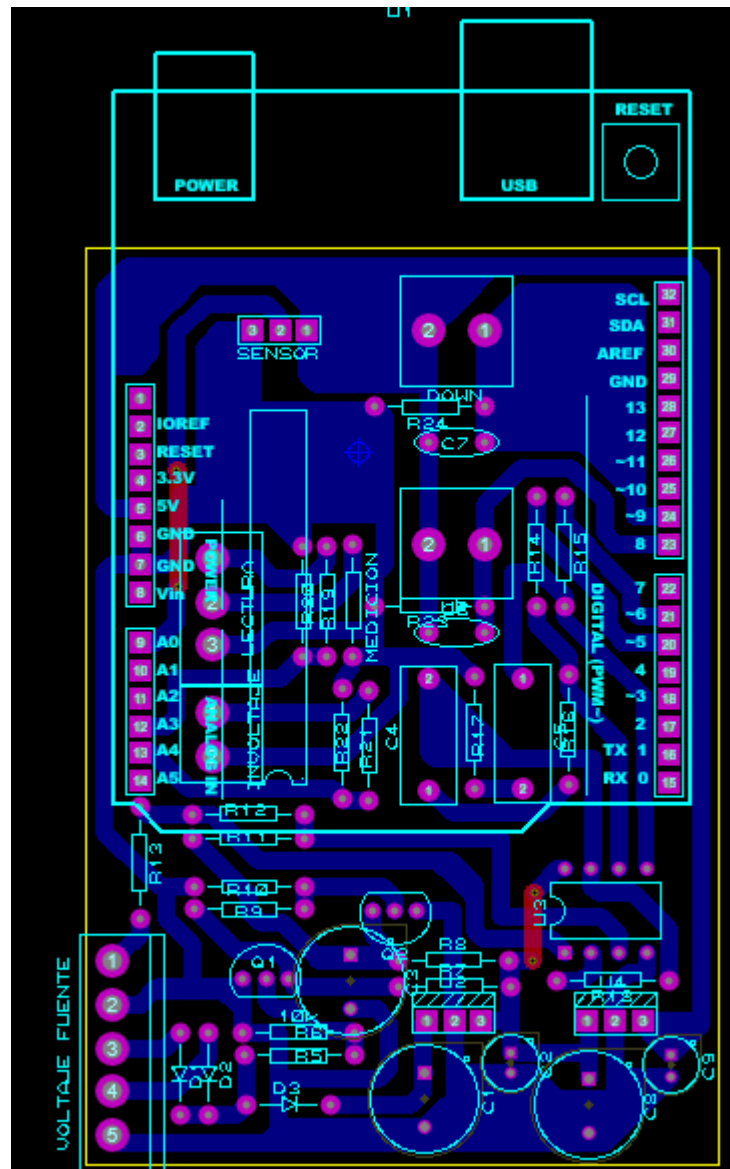
ANEXOS

Anexo 1. Circuito electrónico perteneciente al control mediante Arduino.



Elaborado por: Jhonatan Viscaino

Anexo 2. Circuito PCB para la elaboración de placas.



Elaborado por: Jhonatan Viscaino

Anexo 3. Lenguaje de programación para la obtención de voltaje de entrada y control de voltaje a la salida.

```
float get_voltaje(int n_muestrasv)
```

```
{
```

```
    float voltajevol;
```

```

float voltios=0;

for(int i=0;i<n_muestrasv;i++)

{

    voltajevol = analogRead(A4) * (5.0 / 1023.0);////lectura del sensor

    voltaje_final = voltajevol / (resistencia2 / (resistencia1 + resistencia2)); //Fórmula
del divisor resistivo para el voltaje final

}

float y = voltaje_final;

return(y);

}

void setpoint(){

    contarbotonvoltaje();

    voltaje();

    if (voltaje_final<=55){

        voltaje_fin = map(voltaje_final, 0, 55, 103, 114);    // SETEO DE VOLTAJE
CON 4 BATERIAS 114-----SI DEJA SETEAR EL VOLTAJE

        analogWrite(generador, voltaje_fin);

        // constrain(voltaje_final, 0, 60);

    }

    else if(voltaje_final>55){

        // constrain(voltaje_final, 0, 60);

```

```

    voltaje_fin = map(constrain(voltaje_final, 30, cont1), 30 , cont1 , 140 , 110); //////////
AQUI COMENTE

    //voltaje_fin = map(voltaje_final, 0,60, 100, 135);

    analogWrite(generador, voltaje_fin);

}

```

Anexo 4. Lenguaje de programación para la obtención de la corriente mediante el sensor GY712 y control de la corriente a la salida.

```

float get_corriente(int n_muestras)

{

    float voltajeSensor;

    //float voltajeSensor2;

    float corriente=0;

    for(int i=0;i<n_muestras;i++)

    {

        voltajeSensor = analogRead(A0)*(5.0 / 1023.0);///lectura del sensor

        corriente=corriente+(voltajeSensor-2.5)/sens; //Ecuación para obtener la corriente

    }

    corriente=corriente/n_muestras;

    float x = corriente*-1;

    return(x);

}

```

```
void intensidad(){

    contarbotonvoltaje();

    float I=get_corriente(100);//obtenemos la corriente promedio de 500 muestras

    Serial.print("I");

    Serial.println(I,3);

    //constrain(I, 0, 10);

    //int i_fin = map(constrain(I, 0, cont2), 0, cont2, 80, 0);

    int i_fin = map(I, 0, 10, 110, 133); //135 //// SETEO DE VALOR DE CORRIENTE
CON 3 BATERIAS----INICIA EN 9 AMPERIOS PERO VA BAJANDO COMO SI
ESTUVIRA CON 4 BATERIAS

    analogWrite(generator_corr, i_fin);

    //Serial.print("GENERACION SEÑAL CORRIENTE ");

    //Serial.println(i_fin);

}
```

Anexo 5. Datasheet del sensor acs712



ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Features and Benefits

- Low-noise analog signal path
- Device bandwidth is set via the new FILTER pin
- 5 μ s output rise time in response to step input current
- 80 kHz bandwidth
- Total output error 1.5% at $T_A = 25^\circ\text{C}$
- Small footprint, low-profile SOIC8 package
- 1.2 m Ω internal conductor resistance
- 2.1 kVRMS minimum isolation voltage from pins 1-4 to pins 5-8
- 5.0 V, single supply operation
- 66 to 185 mV/A output sensitivity
- Output voltage proportional to AC or DC currents
- Factory-trimmed for accuracy
- Extremely stable output offset voltage
- Nearly zero magnetic hysteresis
- Ratiometric output from supply voltage



TÜV America
Certificate Number:
UBV 06 05 54214 010



Package: 8 Lead SOIC (suffix LC)



Approximate Scale 1:1



Description

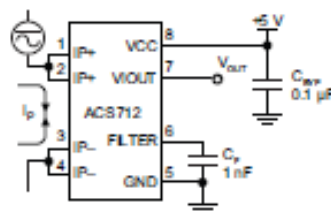
The Allegro[™] ACS712 provides economical and precise solutions for AC or DC current sensing in industrial, commercial, and communications systems. The device package allows for easy implementation by the customer. Typical applications include motor control, load detection and management, switch-mode power supplies, and overcurrent fault protection. The device is not intended for automotive applications.

The device consists of a precise, low-offset, linear Hall circuit with a copper conduction path located near the surface of the die. Applied current flowing through this copper conduction path generates a magnetic field which the Hall IC converts into a proportional voltage. Device accuracy is optimized through the close proximity of the magnetic signal to the Hall transducer. A precise, proportional voltage is provided by the low-offset, chopper-stabilized BiCMOS Hall IC, which is programmed for accuracy after packaging.

The output of the device has a positive slope ($\propto V_{\text{OUT}(Q)}$) when an increasing current flows through the primary copper conduction path (from pins 1 and 2, to pins 3 and 4), which is the path used for current sampling. The internal resistance of this conductive path is 1.2 m Ω typical, providing low power loss. The thickness of the copper conductor allows survival of

Continued on the next page...

Typical Application



Application 1: The ACS712 outputs an analog signal, V_{OUT} , that varies linearly with the uni- or bi-directional AC or DC primary sampled current, I_p , within the range specified. C_p is recommended for noise management, with values that depend on the application.

ACS712

*Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*

Description (continued)

the device at up to 5× overcurrent conditions. The terminals of the conductive path are electrically isolated from the signal leads (pins 5 through 8). This allows the ACS712 to be used in applications requiring electrical isolation without the use of opto-isolators or other costly isolation techniques.

The ACS712 is provided in a small, surface mount SOIC8 package. The leadframe is plated with 100% matte tin, which is compatible with standard lead (Pb) free printed circuit board assembly processes. Internally, the device is Pb-free, except for flip-chip high-temperature Pb-based solder balls, currently exempt from RoHS. The device is fully calibrated prior to shipment from the factory.

Selection Guide

Part Number	Packing*	T _A (°C)	Optimized Range, I _p (A)	Sensitivity, Sens (Typ) (mV/A)
ACS712ELCTR-05B-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±5	185
ACS712ELCTR-20A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±20	100
ACS712ELCTR-30A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±30	66

*Contact Allegro for additional packing options.

Absolute Maximum Ratings

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Supply Voltage	V _{CC}		8	V
Reverse Supply Voltage	V _{REG}		-0.1	V
Output Voltage	V _{OUT}		8	V
Reverse Output Voltage	V _{BIOUT}		-0.1	V
Output Current Source	I _{OUT(SOURCE)}		3	mA
Output Current Sink	I _{OUT(SINK)}		10	mA
Overcurrent Transient Tolerance	I _p	1 pulse, 100 ms	100	A
Nominal Operating Ambient Temperature	T _A	Range E	-40 to 85	°C
Maximum Junction Temperature	T _{J(max)}		165	°C
Storage Temperature	T _{stg}		-65 to 170	°C

Isolation Characteristics

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Unit
Dielectric Strength Test Voltage*	V _{ISO}	Agency type-tested for 60 seconds per UL standard 60950-1, 1st Edition	2100	VAC
Working Voltage for Basic Isolation	V _{WRM}	For basic (single) isolation per UL standard 60950-1, 1st Edition	354	VDC or V _{pk}
Working Voltage for Reinforced Isolation	V _{WRM}	For reinforced (double) isolation per UL standard 60950-1, 1st Edition	184	VDC or V _{pk}

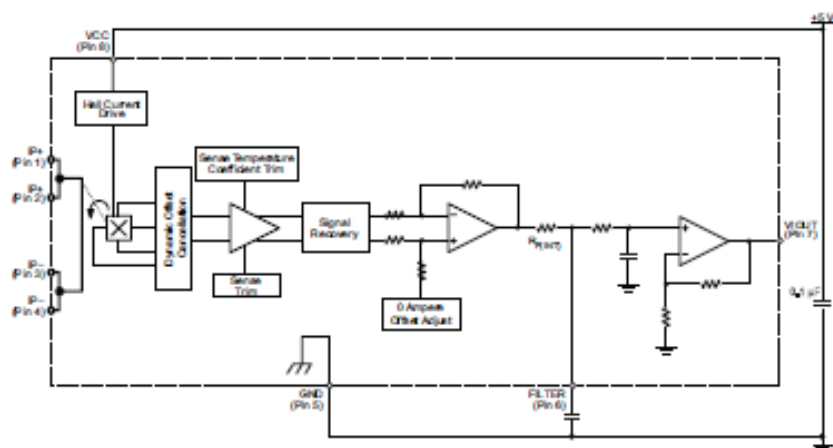
* Allegro does not conduct 60-second testing. It is done only during the UL certification process.

Parameter	Specification
Fire and Electric Shock	CAN/CSA-C22.2 No. 60950-1-03 UL 60950-1:2003 EN 60950-1:2001

ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Functional Block Diagram



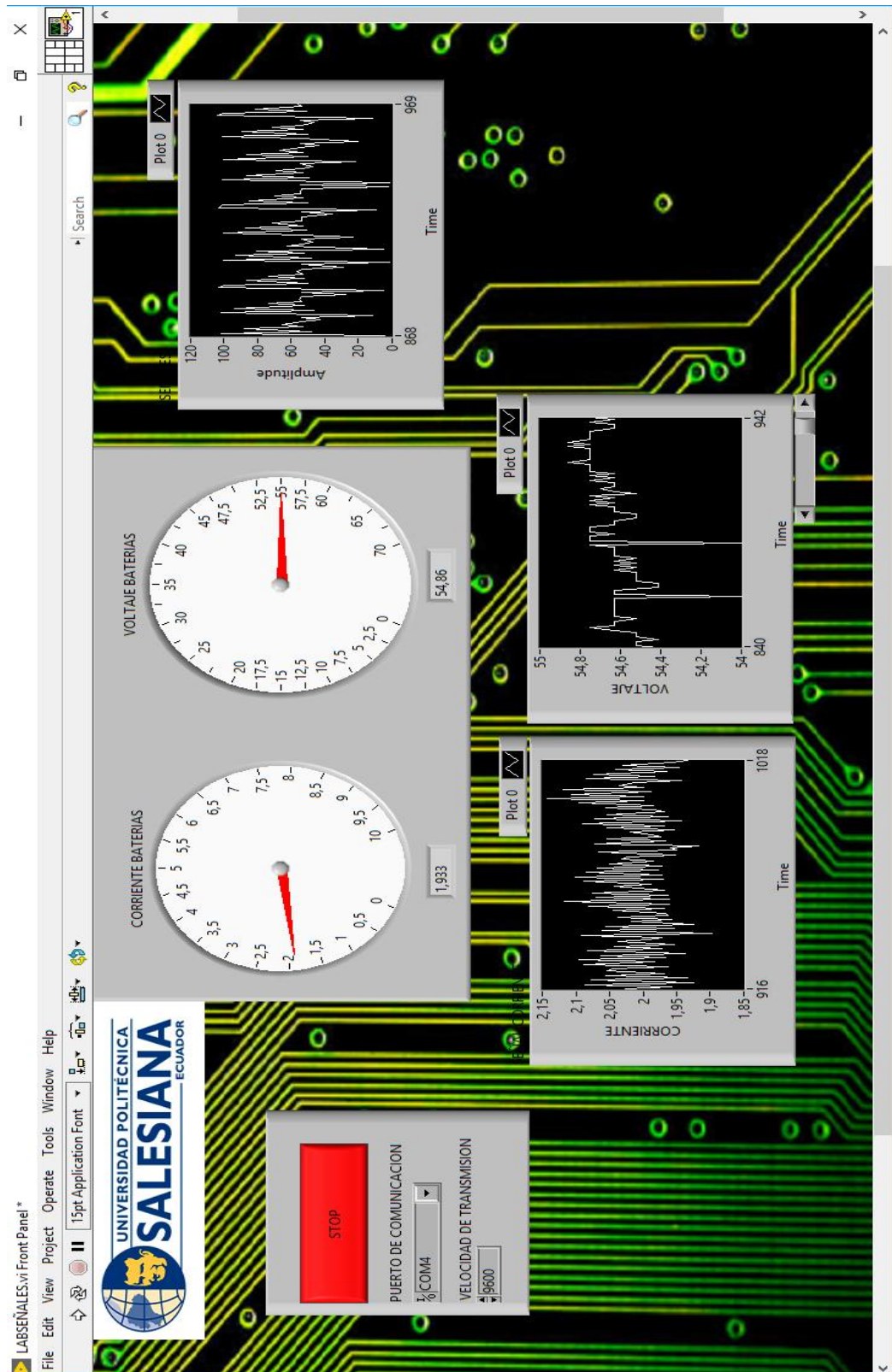
Pin-out Diagram



Terminal List Table

Number	Name	Description
1 and 2	IP+	Terminals for current being sampled; fused internally
3 and 4	IP-	Terminals for current being sampled; fused internally
5	GND	Signal ground terminal
6	FILTER	Terminal for external capacitor that sets bandwidth
7	VOUT	Analog output signal
8	VCC	Device power supply terminal

Anexo 6. Interfaz virtual de Labview, en funcionamiento.



Elaborado por: Jhonatan Viscaino